Ce rapport exprime les vues collectives d'un groupe international d'experts et ne représente pas nécessairement les décisions ou la politique officiellement adoptées par l'Organisation mondiale de la Santé ou par l'Agence internationale de l'Energie atomique.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ
SÉRIE DE RAPPORTS TECHNIQUES
N° 492

UTILISATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS ET DES RADIO-ISOTOPES À DES FINS MÉDICALES

Rapport d'un Comité mixte AIEA/OMS d'experts

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ
GENÈVE
1972

© Organisation mondiale de la Santé, 1972

Les publications de l'Organisation mondiale de la Santé bénéficient de la protection prévue par les dispositions du Protocole N° 2 de la Convention universelle pour la Protection du Droit d'Auteur. Les institutions gouvernementales et les sociétés savantes ou professionnelles peuvent, toutefois, reproduire des données, des extraits ou des illustrations provenant de ces publications, sans en demander l'autorisation à l'Organisation mondiale de la Santé.

Pour toute reproduction ou traduction intégrale, une autorisation doit être demandée au Bureau des Publications et Traductions, Organisation mondiale de la Santé, Genève, Suisse. L'Organisation mondiale de la Santé sera toujours très heureuse de recevoir des demandes à cet effet.

Les désignations utilisées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Directeur général de l'Organisation mondiale de la Santé aucune prise de position quant au statut juridique de tel ou tel pays ou territoire, ou de ses autorités, ni quant au tracé de ses frontières.

La mention de firmes et de produits commerciaux n'implique pas que ces firmes et produits commerciaux sont agréés ou recommandés par l'Organisation mondiale de la Santé de préférence à d'autres. Sauf erreur ou omission, une majuscule initiale indique qu'il s'agit d'un nom déposé.

IMPRIMÉ EN SUISSE

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
1. La médecine des rayonnements : considérations générales	5
1.1 Le développement de la médecine des rayonnements	5
1.2 Les diverses branches de la médecine des rayonnements	6
1.3 Problèmes de recrutement	7
1.4 Formation et qualifications du personnel	8
1.5 Normes de protection contre les rayonnements	8
2. Le radiodiagnostic	9
2.1 Historique et situation actuelle	9
2.2 Considérations sur l'amélioration des services	10
2.3 Priorités	11
2.4 Dimensions et champ d'action des services de radiodiagnostic	12
2.5 Matériel, installations et fournitures	19
2.6 Le personnel et sa formation	23
2.7 Evaluation critique des installations de radiodiagnostic	25
3. La radiothérapie	25
3.1 Introduction et historique	25
3.2 Situation présente de la radiothérapie	26
3.3 Mécanisme de la radiothérapie	26
3.4 Organisation	27
3.5 Organisation des grands services	28
3.6 Dimensions minimales d'un service de radiothérapie	33
3.7 Protection contre les rayonnements	35
4. La médecine nucléaire	36
4.1 Introduction	36
4.2 Méthodes de la médecine nucléaire	37
4.3 Types d'établissements	39
4.4 Aménagement des établissements pratiquant la médecine nucléaire	43
4.5 Personnel	44
4.6 Dotation en matériel	47
4.7 Fourniture de substances radioactives	51
4.8 Le développement des services de médecine nucléaire et ses objectifs	52
4.9 Priorités dans le développement des services de médecine nucléaire	53
5. Conclusions et recommandations	54
5.1 Considérations générales	54
5.2 Activités AIEA/OMS	55
Annexe 1. Développement de l'utilisation médicale des radiations ionisantes	57
Annexe 2. Liste de documents de travail non publiés	58

COMITÉ MIXTE AIEA/OMS D'EXPERTS DE L'UTILISATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS ET DES RADIO-ISOTOPES À DES FINS MÉDICALES

Genève, 26 octobre–1er novembre 1971

Membres :

Dr T. S. Bunnag, Deputy Director, Chulalongkorn Memorial Hospital Medical School, Bangkok, Thaïlande

Professeur R. H. Chamberlain, Department of Radiology, Hospital of the University of Pennsylvania, Philadelphie, Pa., Etats-Unis d'Amérique

Dr J. T. Kofi Duncan, Department of Radiation Biology and Radiotherapy, University of Lagos, College of Medicine, Lagos, Nigéria (*Rapporteur*)

Professeur S. Halter, Secrétaire général, Ministère de la Santé publique et de la Famille, Bruxelles, Belgique (*Président*)

Professeur C. Kellershohn, Service hospitalier Frédéric-Joliot, Hôpital d'Orsay Orsay, France

Dr O. J. Machado, Chef de la Section de Radiothérapie, Institut national du Cancer, Rio de Janeiro, Brésil

Professeur I. A. Perešlegin, Chef du Département de Radiologie, Deuxième Institut médical de Moscou, URSS

Dr El Sheikh Abdel Rahman, Directeur du Centre des Rayonnements et des Isotopes, Khartoum, Soudan (*Raporteur*)

Professeur Sir Brian Windeyer, Vice-Chancellor, University of London, Senate House, Londres, Angleterre (*Vice-Président*)

Représentants d'autres organisations :

Société internationale de Radiologie :

Professeur E. Samuel, Radiodiagnostic Department, The Royal Infirmary, Edimbourg, Ecosse (Secrétaire-Trésorier honoraire, Société internationale de Radiologie)

Professeur A. Zuppinger, Institut de Radiologie de l'Université et de l'Inselspital, Berne, Suisse

Secrétariat :

Dr E. H. Belcher, Chef de la Section des Applications médicales des Radio-isotopes, Division des Sciences biologiques, AIEA, Vienne, Autriche (*Co-Secrétaire*)

Dr G. Meilland, chargé de la liaison entre l'OMS et l'AIEA, Vienne, Autriche

Professeur O. Olsson, Chef du Département de Radiologie diagnostique, Université de Lund, Suède (*Consultant*)

Dr E. E. Pochin, Medical Research Council Department of Clinical Research, University College Hospital Medical School, University Street, Londres, Angleterre (*Consultant*)

Dr K. I. Scheer, Directeur de la Division des Sciences biologiques, AIEA, Vienne, Autriche

Dr W. Seelentag, Chef du service Radiations et Santé, OMS, Genève, Suisse (*Co-Secrétaire*)

Dr J. Servant, Directeur du Bureau de l'AIEA à Genève, OMS, Genève, Suisse

UTILISATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS ET DES RADIO-ISOTOPES À DES FINS MÉDICALES

Rapport d'un Comité mixte AIEA/OMS d'experts

Un comité d'experts de l'utilisation à des fins médicales des rayonnements ionisants et des radio-isotopes s'est réuni à Genève du 26 octobre au 1er novembre 1971. Le Dr B. Dieterich, Directeur de la Division de l'Hygiène du Milieu, Organisation mondiale de la Santé, a ouvert la réunion et souhaité la bienvenue aux participants au nom des deux Organisations.

Le Dr Dieterich a évoqué la nécessité d'examiner les applications médicales des rayonnements et des radio-isotopes sous le double aspect des avantages pouvant en résulter et des dangers inhérents à un usage abusif ou incorrect. Il a ensuite précisé que le Comité avait pour mission, d'une part de déterminer en quelle manière la médecine des rayonnements est susceptible de contribuer le plus efficacement à la thérapeutique et à la prévention, et d'autre part d'exprimer son avis quant à la place qui devrait revenir à cette discipline dans la planification sanitaire. L'attention du Comité a enfin été appelée sur la résolution adoptée en mai 1971 par la Vingt-Quatrième Assemblée mondiale de la Santé (voir annexe 1, page 57) au sujet du développement de l'utilisation médicale des radiations ionisantes.

A l'annexe 2 (voir page 58) figure la liste des documents de travail non publiés qui ont été soumis au Comité. Faisant le point de la situation actuelle dans un certain nombre de pays, ces documents ont servi de base aux considérations contenues dans le présent rapport.

1. LA MÉDECINE DES RAYONNEMENTS : CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

1.1 Le développement de la médecine des rayonnements

La médecine des rayonnements a vu le jour quelques mois après la découverte, en 1895, des rayons X et n'a cessé depuis lors de progresser et de se développer. A l'origine, l'emploi des rayons X à des fins diagnostiques et thérapeutiques était essentiellement dévolu à des radiologues polyvalents.

Par la suite s'est dessinée une évolution qui a conduit à la naissance de deux disciplines distinctes, le radiodiagnostic et la radiothérapie (rœntgenthérapie et curiethérapie). Aujourd'hui, ce groupe compte une nouvelle venue, la médecine nucléaire, qui tend à se constituer en discipline autonome à mesure que les radionucléides deviennent plus facilement accessibles.

De l'avis du Comité, la médecine des rayonnements comporte actuellement trois branches maîtresses : le radiodiagnostic, la radiothérapie et la médecine nucléaire.

Le radiodiagnostic a pour objet de fournir des renseignements d'ordre diagnostique en faisant appel à la propriété qu'ont les rayonnements ionisants de traverser la matière et de former des images grâce à un système de détection approprié.

La radiothérapie s'entend du traitement d'une affection au moyen de rayonnements ionisants en mettant à profit leurs effets biologiques et notamment leur aptitude à détruire les tissus sélectivement.

La médecine nucléaire, dont l'objet est aussi bien thérapeutique que diagnostique, repose sur la distribution dans l'organisme des rayonnements ionisants émis par des sources radioactives non scellées.

Si nul ne conteste plus aujourd'hui que le radiodiagnostic et la radiothérapie soient des disciplines médicales, il en va différemment de la médecine nucléaire dont la définition exacte suscite encore des discussions. Aux fins des débats, le Comité a décidé de considérer comme relevant de la médecine nucléaire tout usage médical de substances radioactives présentées en sources non scellées. En fait, l'usage thérapeutique de ces substances est bien souvent du domaine de la radiothérapie, notamment lorsqu'il s'agit du traitement de tumeurs malignes exigeant le recours à de fortes doses de rayonnements. On peut également se demander si certaines méthodes du diagnostic, et en particulier la scintigraphie considérée dans le présent rapport comme relevant de la médecine nucléaire, ne devraient pas plutôt être rattachées au radiodiagnostic.

1.2 Les diverses branches de la médecine des rayonnements

La médecine des rayonnements constitue pour la médecine préventive et thérapeutique un apport global important, mais inégal selon la branche mise à contribution et selon le niveau de développement des services médicaux de la collectivité en cause. La nature de cet apport sera exposée en détail dans chacune des trois sections respectivement intitulées radiodiagnostic, radiothérapie et médecine nucléaire. Bien que leurs indications et leur mode d'emploi diffèrent, ces trois disciplines possèdent un certain nombre de traits communs qui justifient leur rattachement à la médecine des rayonnements.

1) Toutes font appel aux diverses propriétés des rayonnements ionisants ; aussi les praticiens qui les appliquent doivent-ils connaître ces dernières dans leurs grandes lignes.

2) L'exposition aux rayonnements ionisants comporte un risque d'effets nocifs qui exigent l'institution de mesures de protection rigoureuses. Les problèmes de protection sont en principe communs aux trois branches.

3) Toutes trois doivent être mises en œuvre dans des locaux spécialement aménagés de façon à permettre l'incorporation de systèmes protecteurs. Ces locaux spéciaux présentent un certain nombre de caractères communs, sans pour autant être forcément regroupés dans un secteur déterminé de l'établissement qui les abrite.

4) Dans chaque cas, la collaboration technique de physiciens spécialement formés est une nécessité.

5) Les problèmes posés par l'entretien de l'appareillage à haute tension et du matériel électronique étant plus ou moins analogues dans les trois disciplines, des économies peuvent être réalisées par la fusion des services d'entretien correspondants.

6) Quelle que soit la discipline pratiquée, elle requiert la connaissance de notions générales identiques sur l'emploi des rayonnements ionisants et ses dangers ; il est donc possible d'envisager à cet égard un tronc commun d'enseignement.

1.3 Problèmes de recrutement

Les trois disciplines précitées posent souvent aux établissements qui les pratiquent les mêmes problèmes de recrutement. Dans ce domaine, la pénurie de spécialistes est générale et sévit dans le monde entier. Certains pays n'en possèdent même aucun, de sorte que tout progrès en médecine des rayonnements y est absolument impossible. Le manque de physiciens médicaux se fait sentir d'une manière encore plus aiguë et la pénurie de techniciens qualifiés de radiologie est telle dans la plupart des pays qu'elle pourrait bien être le principal obstacle au développement de cette branche de la médecine.

Devant la pénurie de personnel qualifié qui s'observe à tous les niveaux, il est impératif, pour tirer le meilleur parti possible de cette discipline, de faire en sorte que les spécialistes disponibles soient utilisés à temps plein. L'emploi à temps partiel d'un personnel possédant un niveau élevé de qualification et, par voie de conséquence, le risque d'utilisation également partielle d'un matériel coûteux, constituent un gaspillage économique. Pour être en mesure de recruter et aussi de retenir les physiciens médicaux et les techniciens de radiologie nécessaires, il importe d'établir des contrats de travail qui leur garantissent un statut et un salaire convenables.

1.4 Formation et qualifications du personnel

L'emploi des rayonnements ionisants occupe désormais une place si importante en médecine que tous les praticiens doivent avoir une idée de leurs applications et de leurs dangers. Il est souhaitable qu'une initiation aux principales branches de la médecine des rayonnements soit inscrite au programme des études médicales. Si cet enseignement ne saurait suffire pour permettre aux jeunes médecins d'exercer dans l'une ou l'autre de ces branches sans recevoir une formation spécialisée intensive au niveau post-universitaire, il aurait au moins le mérite de les éclairer sur cette discipline et peut-être d'augmenter leurs chances d'en devenir des spécialistes.

Si, dans les pays où toutes les branches de la médecine des rayonnements connaissent un développement important, il existe à cet effet un enseignement convenable, tel n'est pas le cas dans les autres ; les diplômés désireux de se spécialiser dans ce domaine sont alors contraints d'aller poursuivre leur formation dans certains grands établissements étrangers. Afin de faciliter le recrutement de candidats et d'accroître leurs chances d'être admis par les établissements d'enseignement, il conviendrait de les encourager d'une manière ou d'une autre, par exemple en leur accordant des bourses, et de leur garantir, lorsqu'ils regagnent leur pays d'origine, un emploi à plein temps dans la spécialité qu'ils ont choisie. Dans les pays qui ne possèdent pas les installations voulues, on est parfois également amené, dans un premier temps, à faire assurer la formation des techniciens à l'étranger ; mais une solution possible et bien préférable serait d'assurer leur formation sur place en organisant dans le cadre d'une région ou d'un groupe de pays des écoles où viendraient enseigner des professeurs étrangers. Là où commencent à être mises en place des installations faisant usage de rayonnements, on pourra organiser localement la formation des techniciens, mais les médecins et les physiciens désireux de se spécialiser dans cette branche devront certainement continuer d'aller étudier à l'étranger tant que leur pays ne disposera pas de moyens accrus. On pourrait toutefois envisager de confier leur formation à des centres régionaux spécialement organisés à cet effet.

Enfin, si l'on souhaite voir progresser la médecine des rayonnements, il importe que tous ceux qui s'y consacrent possèdent de solides connaissances générales en médecine clinique car ils seront appelés à travailler en collaboration étroite avec les autres médecins spécialistes, et il faut leur accorder un statut équivalent.

1.5 Normes de protection contre les rayonnements

Le Comité ne s'est pas particulièrement penché sur les normes de radioprotection nécessaires à l'exercice de cette branche de la médecine, car elles

ont déjà été examinées dans d'autres publications de l'AIEA et de l'OMS ainsi que de la CIPR.[1]

2. LE RADIODIAGNOSTIC

2.1 Historique et situation actuelle

Le radiodiagnostic n'existe que depuis 75 années au cours desquelles il a connu une expansion spectaculaire. Dans les pays développés, il a atteint à présent un niveau tel que chaque année, selon toute vraisemblance, environ la moitié de la population subit un examen radiologique.

A l'origine, les techniques radiologiques étaient surtout utilisées comme méthodes d'appoint pour le diagnostic clinique. Aujourd'hui, on les emploie aussi sur une grande échelle pour surveiller la maladie, adopter la conduite à tenir et suivre le malade pendant et après son traitement. On ne saurait exagérer l'importance actuelle du radiodiagnostic dans la conduite à tenir vis-à-vis de la plupart des maladies et ceci dans toutes les disciplines. Beaucoup de spécialités médicales et chirurgicales pourraient difficilement exister sans l'aide du radiodiagnostic, indispensable à chaque malade. En outre, deux autres applications jouent un rôle déterminant dans son actuel développement — le dépistage des affections avant l'apparition des symptômes cliniques et la pratique des bilans de santé, qui se répand rapidement.

---

[1] Les plus importantes de ces publications sont les suivantes :

Agence internationale de l'Energie atomique, Vienne

1962 *Manipulation sans danger des radioisotopes* (*Collection Sécurité*, n° 1)

1967 *Normes fondamentales de radioprotection* (*Collection Sécurité*, n° 9)

Commission internationale de Protection radiologique (Pergamon Press, Oxford)

1959 *Report of Committee II on Permissible dose for internal radiation* (Publication CIPR N° 2)

1964 *Report of Committee 4 on protection against electromagnetic radiation above 3 MeV and electrons, neutrons and protons* (Publication CIPR N° 4)

1966 *Recommendations of the Commission* (Publication CIPR N° 9)

1970 *Report of Committee 3 on protection against ionizing radiation from external sources* (Publication CIPR N° 15)

1970 *Protection of the patient in X-ray diagnosis, a report prepared by a task group of Committee 3* (Publication CIPR N° 16)

1971 *Protection of the patient in radionuclide investigations, a report prepared for the International Commission on Radiological Protection* (Publication CIPR N° 17)

Organisation mondiale de la Santé, Genève

1960 *La surveillance médicale du personnel professionnellement exposé aux radiations* (*Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, N° 196)

1963 *Le rôle des services de santé publique dans la protection contre les rayonnements ionisants* (*Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, N° 254)

1965 *La santé publique et l'emploi des rayonnements ionisants en médecine* (*Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, N° 306)

1966 *Organisation des services de radiothérapie* (*Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, N° 328)

La gamme des techniques radiologiques utilisées reflète également une évolution de la morbidité caractéristique des pays développés — le recul des maladies infectieuses, maîtrisées dans une large mesure, qui le cèdent maintenant en importance aux affections dégénératives et néoplasiques. Ces dernières exigent souvent des techniques radiologiques figurant parmi les plus compliquées et les plus coûteuses. Et cependant, même dans les pays développés, le radiodiagnostic n'a pas encore atteint un niveau d'utilisation optimal. Il faut s'attendre à ce qu'il joue un rôle de plus en plus important dans le dépistage et la surveillance des maladies professionnelles comme dans leur prévention. Il est probable également que la pratique des bilans de santé va se répandre, ce qui contribuera encore à généraliser l'emploi des rayons X.

En revanche, les indications à l'utilisation de certaines techniques sont manifestement posées trop facilement. Il faut insister sur la nécessité, pour le médecin prescripteur, de ne demander qu'à bon escient un examen radiologique et il importe que la décision finale incombe au médecin qui exécute l'examen ou le supervise. La profession ne fera le meilleur usage des examens aux rayons X que lorsqu'un enseignement radiologique de base aura bien mis ce point en évidence. Un radiologue ne devrait pratiquer aucun examen sans qu'on lui en ait clairement exposé les raisons et qu'il en ait admis le bien-fondé ; encore faut-il se garder de répéter inutilement ces investigations.

Il est toutefois bon de se rappeler qu'une grande partie de l'humanité est encore privée du bénéfice des actes, même élémentaires, de radiodiagnostic. Si, dans les pays en voie de développement, les problèmes essentiels en matière de santé sont posés par les maladies transmissibles et nutritionnelles, d'autres raisons médicales, notamment le service des urgences, créent également un besoin réel en techniques radiologiques de base.

2.2 Considérations sur l'amélioration des services

Quantité de facteurs interviennent dans les besoins de chaque pays en matière de radiologie : caractères géographiques et démographiques, morbidité, organisation des soins, ressources économiques et possibilité de recruter un personnel convenablement instruit et formé.

Le Comité range les examens radiologiques en trois catégories : examens de base, examens plus complexes et examens spéciaux. Pour décider de la catégorie nécessaire, il faut tenir compte du niveau général des soins et des mesures thérapeutiques susceptibles d'être effectivement prises à la suite du diagnostic radiologique. Là où une gamme complète de soins est possible, il est évident que le service de radiologie devra être en mesure de réaliser les trois types d'examens.

La création de ce service est soumise à certaines conditions. De solides connaissances en radiologie, habituellement accompagnées par un diplôme,

sont bien entendu nécessaires à tous les niveaux, mais, lorsqu'il s'agit d'appliquer des techniques complexes ou spécialisées, le personnel doit posséder une formation avancée en conséquence.

Dès que le radiodiagnostic commence à être utilisé sur une large échelle, ou du moins le plus tôt possible, il faut prévoir la création d'un centre où des radiologues spécialistes parfaitement compétents seront chargés de fonctions d'enseignement et de contrôle.

Quel qu'en soit le niveau, la pratique de la radiologie entraîne la nécessité de protéger des rayonnements les malades, le personnel et le public en général. L'efficacité de cette protection dépend de la formation du personnel, de la conception et du choix de l'appareillage, de la construction des salles d'examens, de la disposition des installations, ainsi que des techniques et méthodes utilisées. Certaines mesures de surveillance du milieu peuvent également avoir un rôle à jouer. Il faut préciser ici qu'aucun examen radiologique, isolé ou répété, ne comporte de risque exagéré de lésion radiologique pour le malade, s'il est bien conduit, sur des indications correctes.

On notera que des mesures de protection convenablement appliquées éliminent le danger d'irradiation excessive des radiologues, des manipulateurs, des techniciens et du personnel auxiliaire. En outre, il se trouve que la plupart des mesures prises pour assurer une bonne protection améliorent la qualité des images et facilitent donc le diagnostic.

2.3 Priorités

Quelle que soit la destination du service projeté ou en voie de création, il importe de considérer tous les aspects de son organisation si l'on veut être assuré d'un fonctionnement efficace.

Il faut prévoir un équipement approprié, sans oublier l'alimentation en courant ; les locaux doivent être bien adaptés et permettre de bonnes conditions de travail ; il est nécessaire de disposer de radiologues qualifiés ainsi que de personnel médical et technique ; on songera enfin à l'entretien et au dépannage des installations ainsi qu'au réapprovisionnement en produits consommables.

Le Comité considère que dans un pays en voie de développement, les services radiologiques doivent être conçus de façon à pouvoir passer du niveau de base aux niveaux plus complexes et spécialisés, parallèlement à l'évolution progressive des services de santé, de l'économie, de l'hygiène, de la nutrition, etc.

En même temps qu'il pourvoit aux installations de base, le gouvernement du pays doit assurer des possibilités de formation convenable de sorte que le niveau du personnel puisse s'élever continuellement.

Il est certes logique de commencer par affecter la plus grande partie des ressources en matériel et en personnel à la radiologie de base, mais une partie doit en être réservée pour préparer le développement des stades plus

élaborés. L'aboutissement final exigera des dépenses considérables, et à ce stade il faut mettre en place des moyens d'enseignement et de formation, mais aussi de recherche et de développement.

Il est absolument essentiel que le médecin soit familiarisé avec les méthodes d'examen qu'il utilise afin de pouvoir veiller à la qualité des résultats. Pour cela, des connaissances spécialisées lui sont indispensables, et le praticien de base doit aussi avoir toute facilité pour s'adresser à des consultants. Il faut prévoir à toutes les étapes des mesures appropriées pour l'entretien et les réparations. Pour les échelons élevés, il convient de prévoir un recyclage adéquat et un enseignement complémentaire ainsi que la possibilité de se livrer à la recherche.

Tout pays doit déterminer les priorités pour la répartition géographique des installations en tenant compte des besoins locaux et en s'inspirant du souci d'une efficacité maximale.

Pour la radiologie, le choix de ces priorités repose sur des considérations particulières en plus des facteurs qui interviennent dans la plupart des autres décisions médicales. Si les décisions sont prises par les autorités gouvernementales, qui ne sont pas forcément compétentes en planification radiologique, il importe de consulter des experts en la matière.

2.4 Dimensions et champ d'action des services de radiodiagnostic

Il y a des différences considérables dans la fréquence des différents types d'examens, leur difficulté et leur coût. Comme on l'a déjà indiqué à la section 2.2, il faut considérer les besoins sanitaires propres au pays ou à la zone de peuplement, ses ressources économiques et les possibilités d'obtenir un personnel convenablement instruit et formé : en d'autres termes, il est nécessaire de déterminer quelles maladies exigent l'attention la plus urgente, quels crédits peuvent être dégagés, et qui est disponible pour ce travail.

La plupart des examens demandés sont généralement des investigations de base (voir ci-après), qui représentent souvent les deux tiers de tous les actes de radiologie prescrits. Ces investigations fournissent un très grand nombre de renseignements cliniques importants, permettant d'instaurer un traitement salutaire et d'assurer un prompt retour du sujet à son activité professionnelle. L'équipement nécessaire peut être relativement simple et peu coûteux ; il ne nécessite aucun opérateur particulièrement qualifié. Par contre, les techniques spécialisées sont beaucoup plus onéreuses, demandent des installations plus compliquées et un personnel hautement qualifié. Les examens complexes comportent des exigences intermédiaires. Il y a cependant quelques exceptions à ce principe ; il en est ainsi par exemple lorsque la prévalence d'une maladie déterminée rend si fréquents certains examens qu'il faut les considérer comme examens de base même si d'ordinaire ils rentrent dans la catégorie des examens complexes.

Les examens de base sont généralement ceux du thorax (qu'il s'agisse d'enquêtes ou d'examens individuels) et des extrémités, les clichés sans préparation de la colonne vertébrale, de l'abdomen ou du crâne, et les radiographies dentaires. A ce niveau on ne doit effectuer *aucune* étude radioscopique.

Les examens complexes sont ceux du tractus gastro-intestinal — y compris la radioscopie avec ou sans amplification de brillance — la radioscopie ou tout examen complexe du thorax, l'urographie, la cholécystographie, l'étude des tissus mous de régions particulières telles que le sein et le cou, les tomographies, la pelvimétrie, les examens au lit du malade et quantité de techniques moins fréquemment utilisées.

La catégorie des investigations spéciales comprend quant à elle l'angiographie crânienne, abdominale, cardiopulmonaire et périphérique, l'encéphalographie gazeuse, la cinéradiographie, et d'autres techniques du même ordre.

Quel que soit le genre d'examen, il faut insister sur la correction et la précision du centrage, de la collimation, de la filtration, du temps de pose, de la mise en place du malade, et du traitement du film, sans oublier l'interprétation des radiographies par une personne compétente.

2.4.1 *Examens de base*

a) Thorax

De tous les examens, les clichés postéro-antérieurs du thorax sont les plus fréquemment prescrits. Leur nombre atteint ou dépasse souvent 50 % de la quantité totale des examens dans les endroits et les cas les plus divers.

Beaucoup d'enquêtes utilisent la radiophotographie, procédé dans lequel on obtient un cliché de petit format en photographiant un écran radioscopique. Un avantage important de la méthode est son coût moins élevé en films et en produits de développement. Par contre, elle entraîne une plus forte exposition du malade au rayonnement, et les films ont un moindre pouvoir de résolution (qualités de l'image). L'entretien d'optiques à grande vitesse est particulièrement difficile sous des climats extrêmes.

Les clichés thoraciques supportent des variations dans le choix des paramètres (distance foyer-film, tension, etc.) et peuvent se faire avec ou sans grille. Il est cependant hautement souhaitable d'arriver à une normalisation aussi poussée que possible, au moins dans une région ou un secteur déterminé. Les meilleurs clichés sont réalisés avec des poses courtes, de préférence de l'ordre du centième de seconde. Pour une intensité et un sujet donnés, le temps d'exposition dépend de la distance, de la tension et du choix de la grille, des écrans et de l'émulsion. Pratiquement, en utilisant une grille fixe très fine, on peut réaliser des clichés thoraciques postéro-antérieurs parfaitement acceptables avec les paramètres suivants : distance

foyer-film 1,50 m, intensité 100 mA et tension 110 kV. Une forte proportion de malades peut être examinée dans ces conditions avec des poses inférieures à 1/25e de seconde. Les résultats sont nettement moins bons si l'on diminue l'intensité, la tension ou la distance.[1] Lorsque les moyens financiers sont limités, on peut quelquefois se contenter des examens postéro-antérieurs ; cependant, pour le thorax, les positions latérales donnent souvent des renseignements radiologiques supplémentaires.

Un grand soin est nécessaire pour assurer le centrage précis du rayon par rapport au film, la collimation minutieuse — de préférence aux dimensions de la région à examiner et à défaut à celles de la pellicule —, la filtration adéquate, et le développement dans des limites bien déterminées de temps et de température. Le résultat final est nettement amélioré dans la mesure où ces conditions peuvent être assurées par la conception même de l'installation, ce qui élimine tout aléa dû à une erreur humaine ou à une formation insuffisante.

La radioscopie du thorax ne doit *jamais* être employée comme méthode d'enquête ou pour des examens thoraciques généraux. Elle doit être exclusivement réservée à l'obtention de renseignements supplémentaires sur la dynamique, la physiologie et la topographie des organes thoraciques. Son emploi doit être subordonné à deux conditions : bonne adaptation de l'observateur à l'obscurité et contrôle de la dose d'irradiation. Il faut en outre que l'observateur ait suivi un enseignement spécial approprié à l'interprétation des images qu'il peut rencontrer.

b) Extrémités

Après le thorax, ce sont les extrémités qui paraissent requérir le plus d'examens radiologiques par suite de l'incidence accrue des traumatismes du fait de la motorisation des transports, de l'industrie et de l'agriculture. Ces examens sont également nécessaires pour le diagnostic des maladies arthritiques, infectieuses, néoplasiques et dégénératives.

Un appareil relativement simple est généralement suffisant pour l'étude des extrémités ; son alimentation électrique soulève encore moins de problèmes que les examens thoraciques.

Inutiles pour les parties fines des extrémités, des grilles sont utilisées pour les segments les plus gros, et l'examen de la partie supérieure des cuisses exige un temps de pose et des techniques comparables à celles qui sont nécessaires pour le tronc.

c) Tronc [2]

L'examen du rachis et de l'abdomen, y compris le bassin, demande des temps de pose plus longs que toutes les autres radiographies ; les incidences

[1] Voir également *Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, 1965, N° 306, pp. 14-26.

[2] Voir également *Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, 1965, N° 306, pp. 22-26.

latérales des régions sacro-iliaque et pelvienne exigent les temps d'exposition les plus élevés.

Dans les régions abdominale inférieure et pelvienne, la proximité des gonades par rapport au faisceau primaire, ou leur inclusion dans celui-ci, oblige à apporter une attention particulière à la précision du temps de pose, à la collimation et au traitement des films, et à envisager si possible une protection gonadale supplémentaire. Chacune de ces mesures contribue à garantir l'obtention de bons films au premier essai, avec la plus faible dose possible d'irradiation et les meilleures chances d'éviter les répliques. Pour l'examen du bassin chez les femmes susceptibles d'être enceintes, ces considérations sont doublement importantes à cause du risque d'atteindre deux sujets. Un moyen d'éviter l'éventualité d'une irradiation fœtale est de réaliser l'examen pendant la première phase du cycle menstruel, dans la mesure où l'indication médicale et l'urgence de la situation le permettent.

Le plus commode pour obtenir le contraste désiré pour les films de cette région est d'utiliser une tension modérée de 75-95 kV. Du fait de l'épaisseur considérable des tissus de ces parties, cela demande des temps de pose relativement longs, souvent de plusieurs secondes, sous 100 mA et à une distance foyer-film d'un mètre ou plus. La plupart des examens sont réalisés en décubitus dorsal avec un faisceau vertical. La possibilité d'utiliser un rayon horizontal en décubitus et en orthostatisme est utile dans certains cas, par exemple pour l'étude des images hydro-aériques, mais un tel dispositif est jugé secondaire pour les examens de base.

En cas d'urgence, il peut être nécessaire de pratiquer des études avec un contraste modéré dans le cadre des examens radiologiques de base, mais ordinairement la grande majorité de ces études doit être réservée à des installations complexes et à leur personnel spécialisé. Si l'on se lance dans ces recherches, un système de consultation est nécessaire pour faire superviser par des spécialistes les clichés montrant une image douteuse ou un aspect de lésion. La qualité du film doit bien sûr être suffisamment bonne pour rendre cette consultation profitable.

d) Crâne

Une étude de base convenable de la voûte crânienne, des os de la face, du pharynx et des sinus annexés aux fosses nasales peut être réalisée en adoptant les mêmes paramètres que pour le tronc et la partie supérieure des membres. Il est avantageux de pouvoir exécuter ces investigations en position assise et avec un faisceau horizontal, de même qu'avec le malade couché et un faisceau vertical. Dans cette catégorie d'examens, la conception de l'appareil peut grandement contribuer à faciliter le réglage précis du centrage, de la collimation, de la distance et du temps de pose.

L'inclusion d'examens dentaires parmi les examens de base ne mérite qu'une brève analyse. Il est certes possible d'étudier certaines parties des deux maxillaires avec un appareil prévu pour les examens médicaux de

base, mais la collimation n'est généralement pas bonne, surtout pour la prise de clichés intra-buccaux. Si l'on doit effectuer un volume tant soit peu important de radiographies dentaires, il est nettement préférable de choisir un appareil conçu dans ce but. Il faut s'assurer que le personnel technique comme le personnel médical possède une formation et une expérience adaptées à ce type particulier d'examen.

2.4.2 *Examens complexes*

Des examens plus complexes exigeront naturellement des installations plus compliquées et coûteuses, ainsi qu'une qualification technique, une expérience et un entraînement à l'interprétation beaucoup plus poussés.

a) Tractus gastro-intestinal

Les examens avec produit de contraste des diverses parties du tractus gastro-intestinal exigent une installation permettant la radioscopie aussi bien que la radiographie. La radioscopie sans amplification de brillance est largement périmée dans les installations modernes, mais l'équipement avec amplificateur demande de l'expérience pour son entretien et une alimentation stable en courant, sans compter qu'il est incomparablement plus onéreux. Ces points sont cause de difficultés même dans les plus grandes villes des pays en voie de développement. Malheureusement, par rapport à la radioscopie avec amplificateur, l'examen sans amplificateur, outre qu'il demande en général une exposition plus longue et l'adaptation de l'observateur à l'obscurité, donne également des images moins satisfaisantes et plus difficiles à interpréter ; il requiert donc une plus grande expérience, alors que ce sont généralement les observateurs les moins qualifiés que l'on rencontre dans les installations périphériques. D'où l'importance d'apprécier de façon réaliste les besoins en examens complets de l'appareil gastro-intestinal avec emploi de la radioscopie et la possibilité de les exécuter correctement. Bien trop souvent, on a consacré une partie de moyens financiers très limités à installer des amplificateurs de brillance, jugés à tort essentiels, dans des endroits peu appropriés. Il en est résulté qu'un grand nombre d'entre eux se sont montrés inutilisables. Les crédits auraient été mieux employés à des installations radiographiques adaptées à la masse des examens de base tellement indispensables.

b) Urographie

La simple urographie intraveineuse est réalisable avec beaucoup moins de difficultés que les investigations gastro-intestinales. L'appareil peut être aussi simple que celui utilisé pour les examens abdominaux élémentaires, sauf pour les tomographies qui sont quelquefois souhaitées. Pour avoir le maximum d'utilité, l'urographie doit comporter pour chaque malade un nombre considérable de films dont l'interprétation exige une grande habitude.

Les images pathologiques mises en évidence appellent généralement des soins chirurgicaux ou médicaux très spécialisés.

c) Vésicule biliaire

La cholécystographie orale est un autre type d'examen considéré comme « classique » en pratique médicale supérieure. Comme l'urographie, elle est parfaitement réalisable avec un appareillage pour examens abdominaux élémentaires, mais son interprétation demande beaucoup de compétence, et le traitement des maladies ainsi décelées est complexe.

d) Examen des tissus mous

Une mammographie de qualité demande une installation particulière sous faible tension et faible filtration, et parfois des tubes à rayons X spéciaux. Son exécution exige beaucoup de soin et de temps, et l'interprétation des films une grande minutie. Des appareils plus simples permettent l'étude des tissus mous du rhynopharynx, de l'oropharynx et du larynx, mais la lecture des clichés exige en général une grande expérience. Des considérations semblables s'appliquent à l'étude de tissus mous particuliers tels que placenta praevia, etc.

e) Tomographie

Aucun équipement classique ne permet ce genre d'examens qui ne sont d'ailleurs pas des actes de routine. Il faut au moins disposer d'accessoires spéciaux à fixer sur les appareils habituels, et de très bons clichés ne peuvent être obtenus qu'à l'aide d'installations spécialement conçues, coûteuses et servies par un personnel hautement qualifié.

f) Pelvimétrie

Les exigences techniques de la pelvimétrie sont analogues à celles d'un examen de profil du rachis lombo-sacré, mais une collimation précise et une filtration renforcée sont particulièrement nécessaires pour réduire le cas échéant l'exposition du fœtus aux rayons. Même dans les pays développés, ces examens ne sont justifiés qu'en face de problèmes particuliers de disproportion entre la tête de l'enfant et le bassin de la mère, et la demande en reste faible. Là encore, il faut une grande habitude de l'interprétation. Un appareil comportant des rapports géométriques fixes est utile pour obtenir des mensurations précises.

g) Examens ambulatoires au lit du malade

Fréquemment, l'appareil utilisé a une si faible puissance, l'alimentation en courant électrique est tellement incertaine, et les difficultés pour maintenir le malade en bonne position sont si grandes que les films sont d'une qualité extrêmement médiocre. Quand ils s'avèrent indispensables, il faut tout mettre en œuvre pour obtenir une qualité technique au moins acceptable.

La radioprotection mérite également dans ce cas un soin exceptionnel et des mesures particulières. Les mêmes considérations s'appliquent aux appareils utilisés dans les salles d'opération.

2.4.3 *Examens spéciaux*

Si les examens spécialisés font l'objet d'exposés nombreux dans la littérature radiologique actuelle, c'est en grande partie parce qu'elle s'intéresse aux innovations, et non parce qu'elle reflète les besoins véritables de la santé publique. La technique avancée de ces examens exige un effort exceptionnel tant en crédits qu'en hommes. Le coût particulièrement élevé des appareils, de leur entretien, et du personnel ne peut se justifier que par un important volume d'utilisation, par ailleurs nécessaire pour maintenir la compétence de « l'équipe ». Soulignons également qu'il est essentiel de disposer de spécialistes médicaux et chirurgicaux qualifiés pour trier les malades au départ et prendre en dernier ressort les mesures appropriées, le diagnostic une fois posé. L'arbitrage administratif quant à la fixation des priorités en matière médicale doit tenir compte de toutes ces considérations.

a) Angiographie

Des techniques appropriées permettent l'étude anatomique et physiologique de la presque totalité du système vasculaire. Des tumeurs et d'autres lésions peuvent être rendues apparentes par le déplacement ou l'aspect insolite des vaisseaux. Parmi les troubles vasculaires ainsi décelables, figurent les anomalies cardiaques, les lésions athéromateuses et les thromboses. Cette technique est extrêmement coûteuse car, outre son prix, chaque installation ne permet de réaliser qu'un petit nombre d'examens par jour.

b) Encéphalographie gazeuse

Ces techniques de contraste gazeux nécessitent des appareillages quelque peu différents, mais des considérations semblables à celles qui ont été indiquées pour l'angiographie sont également valables.

c) Myélographie

Parmi les appareils utilisés pour la radioscopie et la radiographie digestives, les modèles d'usage le plus universel peuvent généralement être employés aussi pour la myélographie. Dans les centres spécialisés en neurologie et neurochirurgie, des installations plus particulières sont parfois justifiées.

d) Cinéradiographie

Cette technique coûteuse et complexe est utile pour l'enregistrement dynamique d'une quantité de caractères physiologiques ou physiopathologiques. Les malades sont soumis à une irradiation considérable, facteur qui s'ajoute aux autres considérations applicables à l'ensemble de la catégorie des examens spécialisés.

2.4.4 *Classement des examens d'après un « indice de priorité »*

Il peut être utile de proposer des indices de priorité pour examiner la valeur relative de différents actes de radiodiagnostic et pour faire ressortir l'importance de certains d'entre eux. Ces indices peuvent s'établir en additionnant les notes attribuées aux diverses caractéristiques de chaque acte, par exemple le niveau d'instruction médicale ou technique nécessaire, le nombre de malades relevant de cet examen, l'avantage qu'il comporte pour l'individu et pour la santé publique, la dose de rayonnement reçue par le sujet, et les dépenses entraînées. D'autres éléments peuvent y être incorporés pour tenir compte de situations particulières à évaluer ; l'importance relative affectée dans l'indice global à chaque caractéristique peut sans doute varier selon les cas.

2.5 Matériel, installations et fournitures [1]

Dans tout hôpital, le service de radiodiagnostic doit en principe avoir une situation centrale pour le rendre d'accès aussi commode que possible. On lui procure de beaucoup les meilleures conditions d'organisation et de fonctionnement en regroupant les installations dans le même secteur sous la responsabilité d'un spécialiste expérimenté.

2.5.1 *Conception et disposition du service*

Même pour l'installation la plus petite et la plus simple, il est avantageux de réfléchir à la disposition la meilleure pour l'appareillage, la chambre noire, le circuit des malades et les activités du personnel qui y travaille, compte tenu de l'étendue et du plan du bâtiment. L'accès des consultants externes comme des malades hospitalisés peut être facilité par le choix de l'emplacement. On améliore le rendement de toutes les opérations en choisissant un plan de nature à faciliter l'enchaînement logique des actes et à éviter les goulets d'étranglement ainsi que les croisements. La proximité des blocs opératoires et des services d'urgence est parfois importante. Dans la mesure du possible, architectes et entrepreneurs doivent connaître à l'avance la consommation de courant et d'eau, le volume des eaux usées, l'importance du blindage des murs et des sols nécessaire pour la radioprotection, et le nombre prévu de malades dans chaque catégorie. Avec les dimensions et la complexité progressivement croissantes des installations radiologiques, ces questions prennent encore plus d'importance. Dans les centres hospitaliers effectuant des actes radiologiques complexes ou spé-

[1] Des renseignements complémentaires peuvent être trouvés dans le rapport d'un séminaire OMS sur l'utilisation des appareils et des installations de radiologie médicale, qui a eu lieu à Singapour en 1970 (document non publié WHO/RHL/71.2, qui peut être obtenu sur demande adressée à l'Organisation mondiale de la Santé, 1211 Genève 27, Suisse).

ciaux, il est bon de prévoir des installations pour l'enseignement et la recherche en plus de celles nécessaires pour les examens cliniques.

La ventilation des salles de radioscopie et des laboratoires de développement mérite une attention toute particulière. Il faut si possible les équiper de climatiseurs.

On pourra consulter des spécialistes sur l'établissement des plans du service de radiologie. Il existe aussi de nombreux livres et publications sur le sujet ; mais comme ces ouvrages s'appliquent le plus souvent à des situations très différentes de celles que l'on peut s'attendre à trouver dans la plupart des pays en voie de développement, leurs conseils doivent être suivis *mutatis mutandis*.

2.5.2 *Normalisation des appareils, limitation des variantes d'emploi, sources d'énergie*

Comme il a été exposé dans la section 2.4, la simplicité et l'uniformité du matériel constituent un grand avantage en permettant de réduire au minimum les risques d'erreur humaine. La formation des techniciens peut être considérablement facilitée si l'on équipe toutes les installations radiologiques de base d'une région ou d'un pays donnés avec un seul modèle ou, au moins, avec un très petit nombre de modèles spécialement étudiés pour limiter les variantes d'emploi et assurer la stabilité du courant.

Une autre caractéristique des appareils de radiodiagnostic modernes est l'incorporation de posemètres automatiques. En fait, ce dispositif ne présente de grands avantages que s'il existe des services d'entretien sûrs et réguliers. Malheureusement, cette condition rend fréquemment l'adjonction de ce perfectionnement peu souhaitable dans les appareillages radiologiques de base.

2.5.3 *Coûts*

L'estimation réaliste des dépenses doit tenir compte non seulement du prix d'achat initial de l'appareil mais aussi du prix des pièces détachées et des frais de main-d'œuvre pour les dépannages et l'entretien. L'avis d'un expert suffisamment compétent en technologie radiologique et en comptabilité des coûts peut être extrêmement précieux pour évaluer le montant des frais réels.

2.5.4 *Installations*

La connaissance des conditions locales dans plusieurs domaines — transports, bâtiment (méthodes de construction des murs et des planchers), possibilité d'approvisionnement en eau, électricité et matériel de ventilation — est de nature à simplifier les problèmes d'installation. Ces facteurs peuvent influer sur le choix initial de l'équipement. Il faut également deman-

der au vendeur s'il peut se charger de la première installation de l'appareillage.

2.5.5 *Services d'entretien et de dépannage*

Un entretien convenable est de première importance pour les appareils radiologiques de tous types. Simple pour des engins peu complexes et bien construits, il doit cependant toujours constituer une préoccupation essentielle au cours de la planification. C'est pourquoi il faut, dans tous les cas, s'assurer d'un stock suffisant de pièces de rechange, fourni par le vendeur ou par tout autre circuit.

L'entretien peut être rationalisé par la normalisation des appareils, grâce à l'utilisation d'un petit nombre de modèles.

2.5.6 *Fournitures consommables*

Le poste le plus important parmi les fournitures consommables comprend les films et produits chimiques de développement. La chaleur et le stockage prolongé détériorent les films radiologiques ; leurs conditions de transport et de magasinage doivent donc être soigneusement surveillées. Bien entendu, il faut également éviter aux films en réserve toute exposition accidentelle aux rayons X. Les effets les plus nocifs sont produits par une chaleur excessive pendant les traversées, le stockage dans des abris métalliques brûlants sous les climats tropicaux, et la conservation prolongée. Il peut en résulter la formation de voiles interdisant l'obtention finale d'un produit de haute qualité. Le circuit d'approvisionnement en films doit donc être soigneusement organisé, du point de départ jusqu'à l'utilisateur effectif, afin de réduire au minimum la période d'emmagasinage.

2.5.7 *Problèmes particuliers du traitement des films*

Les produits chimiques servant habituellement au développement manuel ont été conçus à l'usage de régions où l'eau fournie est généralement fraîche (moins de 20°C). Les machines à développer automatiques fonctionnent à des températures de 32°C et plus, mais elles ne conviennent pas pour des installations de base et ne doivent être utilisées que dans de grands centres médicaux traitant d'importantes quantités de films et bénéficiant de la surveillance de techniciens qualifiés. Certains produits prévus pour des machines automatiques ont été modifiés avec succès pour servir à un développement manuel plus long mais à température plus élevée (29°–40°C). Ces préparations offrent le grand avantage, sous les climats tropicaux, d'éviter les frais et les difficultés de la réfrigréation artificielle pour le traitement des films.

D'autres problèmes particuliers à ces opérations dans les pays en voie de développement ont trait à l'approvisionnement en eau — qui doit être

suffisamment abondante et propre et sans dureté excessive pour permettre un lavage efficace — et au séchage correct des films lorsque l'humidité est par trop grande.

Pour obtenir des clichés de haute qualité, le développement doit être fait dans des conditions très précises de durée et de température. Le développement au jugé ne doit pas être toléré, sauf circonstances très exceptionnelles. Il est souvent avantageux d'employer des aveugles pour le travail en chambre noire. On assure de la sorte la précision du traitement tout en offrant un emploi accessible à ces handicapés du travail.

2.5.8 *Examen des mesures de protection contre les rayonnements* [1]

La protection du personnel, des malades, et des personnes voisines contre le rayonnement doit être un souci constant tout au long de la conception des bâtiments, de l'implantation et du choix de tous les équipements, sans préjudice d'un contrôle permanent de l'efficacité des mesures prises. On trouve sur le sujet de nombreuses publications proposant des conseils à suivre tels quels ou à adapter aux conditions locales. Une protection satisfaisante exige aussi une connaissance suffisante de la question par le personnel technique et médical chargé d'effectuer les actes ; cette question devrait faire partie intégrante de sa formation. L'idée élémentaire d'obtenir le meilleur résultat possible avec une dose minimale (rendement pratique de l'irradiation) est à la base de tout le système de soins, qu'il s'agisse de déterminer au départ les malades à examiner, la fréquence des examens de contrôle ou la nature des installations radiologiques à mettre en place. Il faut prévoir également pour la protection du personnel le port de films individuels et d'autres moyens dosimétriques.

A ce propos, il faut envisager la dose moyenne reçue par la population du fait des techniques de radiodiagnostic. Probablement très faible dans les pays en voie de développement, même lorsque plusieurs programmes d'enquêtes collectives y sont appliqués, elle doit en revanche être périodiquement évaluée dans les pays développés.

---

[1] Voir également :

Commission internationale de Protection radiologique (Pergamon Press, Oxford)

1970 *Report of Committee 3 on protection against ionizing radiation from external sources* (Publication CIPR N° 15)

1970 *Protection of the patient in X-ray diagnosis, a report prepared by a task group of Committee 3* (Publication CIPR N° 16)

Organisation mondiale de la Santé, Genève

1958 *L'enseignement postuniversitaire des questions de santé publique se rapportant à l'énergie nucléaire* (*Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, N° 154)

1965 *La santé publique et l'emploi des rayonnements ionisants en médecine* (*Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, N° 306)

1968 *Radiophysique médicale* (*Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, N° 390)

2.6 Le personnel et sa formation [1]

La pratique des actes radiologiques nécessite des médecins spécialisés, des physiciens et ingénieurs, des techniciens, et un personnel d'entretien et de réparation de qualification variée.

2.6.1 *Médecins*

Dans certaines régions évoluées, il existe un nombre suffisant de spécialistes en radiologie pour donner des conseils qualifiés pour les examens de base comme pour les examens complexes ou spéciaux. C'est évidemment là un objectif souhaitable, mais la longueur de l'enseignement nécessaire (4 ans ou même davantage de spécialisation au sortir de la faculté de médecine) et la rareté des médecins disponibles interdisent l'espoir de disposer dans un avenir rapproché d'un nombre suffisant de spécialistes pour assurer une couverture totale dans la plupart des pays en voie de développement. Dans certains pays développés, la proportion de radiologues spécialisés par rapport à la population générale s'élève jusqu'à 1 pour 20 000 contre 1 pour 2 000 000 dans beaucoup de pays en voie de développement. La longueur du délai inévitable pour former des spécialistes en nombre suffisant doit inciter à lancer sans retard des programmes de formation qui comportent l'enseignement de la pratique radiologique, la préparation d'éventuels moniteurs en radiologie, et, comme moyen terme, la formation de non-radiologues pour les rendre aptes à exécuter les examens radiologiques fondamentaux.

La formation du non-radiologue doit se faire dans des installations suffisamment modernes sous la direction d'un professeur de radiologie parfaitement compétent ; le cours doit détailler les techniques et les appareils adaptés à la radiologie de base, et durer suffisamment pour assurer une qualification satisfaisante. Confier une partie notable des actes de radiodiagnostic à des non-spécialistes doit cependant être considéré comme un expédient ; les non-radiologues sont donc à remplacer dès que possible par des spécialistes qualifiés.

Lorsque l'on commence à établir des installations de radiodiagnostic dans les pays en voie de développement, il peut être utile d'inviter des professeurs de radiologie appartenant à des pays plus avancés et aussi, dès ce moment et à un stade ultérieur, d'envoyer quelques élèves — particulièrement ceux qui visent une carrière universitaire — suivre ailleurs un enseignement approprié dans des centres dotés d'un personnel et d'un équipement de qualité.

---

[1] Le problème de l'enseignement est examiné par la Commission d'Enseignement et d'Information sur la Radiologie de la Société internationale de Radiologie. On trouvera d'autres indications sur la formation des techniciens de radiologie dans le rapport d'un séminaire AIEA/OMS qui a traité de cette question à Téhéran en 1971 (document non publié WHO/RHL/72.1, fourni sur demande adressée à l'Organisation mondiale de la Santé, 1211 Genève 27, Suisse).

2.6.2 *Techniciens de radiologie*

Des techniciens ou manipulateurs parfaitement qualifiés sont nécessaires pour tirer parti de la souplesse d'emploi des appareils qui servent par exemple pour les actes complexes. Ils ont besoin de recevoir un enseignement professionnel théorique et pratique faisant suite à une formation générale d'un niveau suffisant. D'assez bonnes bases théoriques leur sont nécessaires pour s'adapter à toutes sortes d'appareils et à la gamme complète des examens. Ceux qui manifestent suffisamment d'intérêt et possèdent les qualifications convenables peuvent être d'une aide précieuse pour l'enseignement. Avec une expérience et une qualification complémentaire suffisantes, ils devraient avoir la possibilité d'être promus à des postes de surveillants ou de techniciens spécialistes.

Sur un modèle donné d'appareil, uniquement prévu pour les examens de base, il pourrait être possible d'amener les techniciens à un niveau suffisant en peu de temps. La qualification de ce personnel ne dépassera pas les limites de l'installation particulière qu'il a appris à connaître. Les techniciens sérieux doivent se voir offrir la chance de progresser vers une qualification complète.

Le personnel de laboratoire n'a pas besoin d'être formé aux autres techniques. Des techniciens de radiologie complets doivent par contre être parfaitement familiarisés avec la théorie et la pratique de la chambre noire de façon à pouvoir apprécier l'influence respective du développement et de la technique d'exposition sur la qualité des clichés. Ils peuvent aussi servir d'instructeurs pour le personnel de laboratoire.

A mesure que le radiodiagnostic progresse dans un pays, on peut escompter que le nombre des techniciens parfaitement compétents augmentera progressivement, réduisant d'autant la nécessité de se reposer en grande partie sur des personnes incomplètement formées.

2.6.3 *Physiciens et ingénieurs*

Si les besoins en physiciens et ingénieurs médicaux sont plus restreints, il n'en reste pas moins que leur rôle est très important. Pour organiser des services de qualité, superviser la protection contre les radiations, assurer l'entretien du matériel et la formation dans ce domaine de tout le reste du personnel, il est important de prévoir au moins un noyau de personnes compétentes en physique médicale et en technologie radiologique.

2.6.4 *Personnel d'entretien et de réparation*

Il est préférable que les services d'entretien et de réparation soient assurés par les fabricants et fournisseurs d'appareils puisqu'ils sont en rapport étroit avec les ingénieurs et autres spécialistes des maisons mères. A défaut, il faut prévoir des équipes pour assurer l'entretien et des inspections

périodiques régulières, de même que des services de réparations ou de remplacement d'urgence.

2.7 Evaluation critique des installations de radiodiagnostic

Pour faciliter l'évaluation comparative d'un service de diagnostic, qu'il s'agisse d'un service existant ou d'un service en projet, il peut être utile de s'aider d'une liste de contrôle pour établir un tableau comparatif. En analysant ainsi de manière précise les avantages et les inconvénients de chaque élément de l'installation, on évitera plus facilement des erreurs dans le choix des appareils et des installations et dans l'établissement des programmes de formation. Semblable étude peut être effectuée même pour des installations techniques complexes et spécialisées, mais la richesse des options est beaucoup plus grande et doit être examinée dans chaque cas particulier par des spécialistes en radiologie et en physique médicale et par des ingénieurs, avec le soutien le plus complet possible des fabricants et, de préférence, avec l'aide de consultants en planification radiologique.

Il ressort de ce qui précède que les services de radiodiagnostic, où qu'ils se trouvent, doivent avoir une structure pyramidale, les examens fondamentaux représentant la base de la pyramide. Tout progrès important vers des services complexes ou spéciaux, dépassant le cadre du centre d'enseignement, devrait venir au second rang dans les priorités après une couverture suffisamment complète en radiologie de base. Cette organisation peut varier dans une certaine mesure selon les pays, et les régions d'un même pays.

Une fois un programme de base mis en route, il faut très rapidement porter son attention sur l'échelon suivant. D'autre part, après un certain temps, un programme en cours a besoin d'être revu et réévalué compte tenu de la création d'autres services spécialisés ; si cela paraît nécessaire, il ne faut pas hésiter à le modifier pour l'adapter aux besoins et aux objectifs primordiaux.

3. LA RADIOTHÉRAPIE

3.1 Introduction et historique

La radiothérapie est l'application des rayonnements ionisants à la thérapeutique. Née peu après la découverte des rayons X par Rœntgen, elle n'a cessé de progresser depuis cette date. Considérée à l'origine comme une partie de la radiologie générale, elle a été pratiquée par les radiologues concurremment avec le radiodiagnostic. Les effets biologiques du radium une fois connus, cet élément a commencé à être utilisé pour le traitement du cancer, particulièrement par les chirurgiens et les gynécologues qui portaient un intérêt particulier au traitement des tumeurs malignes. Peu à peu, avec l'évolution de ces deux formes de thérapeutique, s'est développée une disci-

pline médicale séparée qui a été appelée radiothérapie. Les traitements par les rayons X, par le radium et par les rayonnements émis par d'autres substances radioactives sont à présent confiés au même spécialiste.

Une évolution considérable s'est produite dans les appareils mis à la disposition du radiothérapeute. Les installations à rayons X se sont perfectionnées très rapidement, particulièrement pendant les 30 dernières années, lorsque la haute tension est devenue un instrument clinique sûr et constamment disponible. Pendant la même période, de nombreuses variétés de radionucléides sont devenues utilisables. En fait, certains corps radioactifs employés en sources scellées remplacent à présent très largement les substances radioactives naturelles, principalement le radium, précédemment en usage.

3.2 Situation présente de la radiothérapie [1]

A la fois curative et palliative, la radiothérapie est devenue aujourd'hui l'un des moyens les plus importants pour traiter le cancer, concurremment avec la chirurgie. Depuis sa découverte, elle a été utilisée pour soigner également d'autres affections, et même essayée, au début, pour la presque totalité des maladies alors diagnostiquées. Mais peu à peu, l'expérience a montré que la radiothérapie était inopportune dans bien des affections, et son emploi est maintenant limité principalement au traitement des tumeurs malignes. Cependant, elle reste utilisable dans certaines autres maladies, surtout dermatologiques, et dans certaines affections dégénératives ou inflammatoires.

On estime que dans un grand nombre de pays industrialisés, qui tiennent à jour un fichier relativement complet des cancéreux, l'incidence annuelle des affections malignes est d'environ 3000 nouveaux cas par million d'habitants. Dans d'autres pays, elle est vraisemblablement plus proche de 2000 à 2500 cas par million. Des incertitudes considérables demeurent par suite du caractère incomplet de l'enregistrement du cancer, et le nombre dépend dans une certaine mesure de l'espérance de vie dans la collectivité considérée.

Dans les pays où la radiothérapie n'est pas encore pratiquée, son introduction est légitime dans la mesure où est mis en œuvre un programme de lutte anticancéreuse. On a estimé que lorsque celui-ci est bien établi, à peu près la moitié de tous les malades sont justifiables de la radiothérapie au cours de leur traitement.

3.3 Mécanisme de la radiothérapie

Les rayonnements ionisants agissent sur les tissus et les cellules par inhibition, lésion ou destruction selon la dose. L'avantage propre à la

[1] Voir *Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, 1966, N° 322, pp. 19-23.

radiothérapie sur toute autre méthode de destruction tissulaire réside dans la sélectivité de son effet. Certains tissus et cellules, particulièrement ceux de diverses tumeurs malignes, sont plus facilement lésés ou détruits que la majorité des tissus normaux qu'ils infiltrent, bien que tous les tissus irradiés subissent un certain degré d'altération. Il existe toujours un risque que les tissus normaux soient malencontreusement lésés et que le personnel appliquant le traitement puisse également être touché. C'est pourquoi il convient toujours d'organiser sous une forme ou l'autre une protection contre les rayonnements dans tout établissement de radiothérapie.

3.4 Organisation [1]

La bonne utilisation de la radiothérapie exige une organisation importante. Les conditions essentielles sont : un médecin convenablement formé à ce travail, l'aide de physiciens médicaux pour assurer la précision de la dose et de sa répartition et, en outre, un personnel technique expérimenté pour contribuer au traitement journalier des nouveaux malades. Un travail d'équipe est nécessaire, tant à l'intérieur du service qu'entre les divers spécialistes concernés par la thérapeutique générale du cancer.

Comme les autres grandes méthodes de traitement de cette maladie — chirurgie et chimiothérapie — la radiothérapie ne peut être pratiquée isolément. Le malade n'en retirera le plus grand bénéfice que s'il existe une étroite collaboration entre les spécialistes des diverses disciplines. Cette collaboration doit se manifester, entre autres, sous la forme de consultations à plusieurs pour discuter et mieux délimiter les avantages et les inconvénients respectifs des différentes méthodes de traitement. Il en résulte une tendance à concentrer la thérapeutique anticancéreuse dans des centres relativement importants où toutes les disciplines sont représentées. Dans les grandes collectivités, on s'oriente vers la formule des centres anticancéreux multidisciplinaires.

La radiothérapie elle-même nécessite un groupement de moyens. Le service doit être suffisamment important pour comprendre certaines unités essentielles — surveillance postthérapeutique et archives médicales, notamment — et pour assurer l'utilisation rationnelle d'un équipement coûteux. En outre, la concentration des moyens radiothérapiques dans de grands services rend possible la réunion de toute une variété d'appareils, ce qui permet au thérapeute de disposer du mieux adapté dans chaque cas particulier. De surcroît, le service doit être assez grand et traiter des cas suffisamment variés pour permettre au spécialiste d'acquérir et d'entretenir l'expérience de toutes les formes habituelles de cancer.

Le service de radiothérapie doit être conçu comme partie intégrante d'un hôpital général ou d'un centre anticancéreux général, car la grande

[1] Voir également *Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, 1966, N° 328.

variété des manifestations malignes et les nombreuses disciplines intervenant dans les divers aspects de son traitement exigent la présence de spécialistes de ces disciplines. En particulier, les ressources d'un hôpital général sont nécessaires pour fournir des renseignements anatomopathologiques sérieux. Il faut prévoir un accès facile au service de radiodiagnostic nécessaire pour établir le programme de traitement. C'est également un avantage que de disposer d'un service de photographie médicale pour aider à apprécier les résultats thérapeutiques et à suivre le malade. De plus, outre les documents concernant la radiothérapie elle-même, il est indispensable de disposer de dossiers médicaux corrects sur l'état général du patient.

3.5 Organisation des grands services

On examinera dans les sections suivantes l'organisation nécessaire à un grand service de radiothérapie où l'on peut trouver toutes les installations utiles.

En se fondant sur 2500 nouveaux cas de cancer par million d'habitants et par an, on estime qu'au moins 1200 d'entre eux viendront à la radiothérapie au cours de l'évolution. Elle peut ne pas être l'unique méthode employée et ne représenter qu'une partie de mesures thérapeutiques comportant également le recours à la chirurgie ou à la chimiothérapie.

Aux fins du schéma proposé ci-après, on considère qu'un grand service possédant des installations complètes doit être équipé pour le traitement de 2000 cas par an.

3.5.1 *Locaux et équipements*

Outre les installations habituelles et l'espace réservé à la réception des malades et à l'administration, il faut des salles de consultation et d'examen en nombre et en dimensions convenables.

Pour les irradiations externes, on prévoira au moins trois unités à « haute énergie », c'est-à-dire soit des appareils capables de produire des rayons X sous une tension maximale au moins égale à un million de volts, soit une bombe au cobalt-60 d'un kilocurie.

Deux installations de moyenne énergie doivent être prévues. On entend par là des appareils radiogènes d'une tension maximale de 200 à 400 kV ou une bombe au césium-137 d'un kilocurie. En outre, il faut des appareils de traitement fonctionnant sous une tension maximale de 20 à 120 kV. Il doit également y avoir une provision de sources radioactives sous forme d'aiguilles et de tubes pour les applications interstitielles et intracavitaires ou pour les traitements superficiels à courte distance ; l'importance de ce stock varie dans chaque service selon les types de cancer les plus fréquents. On a presque toujours besoin de ces sources pour le traitement intracavitaire du cancer de l'utérus. Autrefois, la source de radioactivité utilisée pour

les aiguilles et tubes était souvent un sel de radium insoluble, mais les équipements modernes font appel au cobalt-60 ou au césium-137, qui présentent des avantages de sécurité en plus de l'intérêt primordial d'être bien meilleur marché que le radium. Le cobalt-60 présente un inconvénient : sa période n'est que de cinq ans environ, ce qui oblige à remplacer ou réactiver les sources au bout de quelques années. Le césium-137, par contre, a une période d'environ 30 ans ; cependant, les rayons gamma qu'il émet sont moins énergétiques que ceux du cobalt-60, d'où un moins bon rendement en profondeur.

Des moyens appropriés sont nécessaires pour la manipulation et l'emmagasinage sans danger de toutes les substances radioactives, ainsi que pour l'emploi des techniques dites « after-loading ». D'autres besoins ont trait aux locaux, à l'équipement et aux données permettant de dresser les programmes de traitement individuels, par exemple une salle pour fabriquer des moulages afin d'assurer la précision du traitement et d'établir des courbes isodoses des divers faisceaux de rayonnement utilisés. De même doit-on prévoir l'équipement pour la dosimétrie nécessaire à la conduite du traitement, au contrôle du niveau des doses dans le service, et à la surveillance du personnel. Il faut avoir accès à un laboratoire possédant des étalons permettant de régler convenablement et minutieusement l'ensemble des instruments de mesure. L'équipement doit comprendre un simulateur, qui permettra de gagner beaucoup de temps dans l'emploi des appareils d'irradiation. Dans certains centres la possibilité d'utiliser une calculatrice pour l'établissement des doses est utile.

Il faut penser au type d'installation à prévoir pour le radiodiagnostic. Un très grand nombre d'examens différents sont nécessaires, et il est essentiel que les appareils permettant de les effectuer soient toujours à la disposition du service de radiothérapie pour éviter qu'on ait à suspendre un traitement, faute de pouvoir l'organiser ou de pouvoir vérifier ses résultats grâce au radiodiagnostic. Nombre d'examens compliqués, comme la tomographie et l'étude poussée de la structure osseuse, sont nécessaires pour déterminer la présence ou l'absence de métastases. Parfois, il s'agira de techniques encore plus délicates comme la lymphographie. Il faut prendre des dispositions pour que ces examens soient effectués rapidement par le personnel qualifié d'un service central de radiodiagnostic. Il peut quelquefois être préférable d'installer un équipement autonome de radiodiagnostic à l'intérieur d'un service de radiothérapie ; réservé à la mise au point du traitement, il est habituellement d'un type simple.

Les locaux destinés à abriter tous ces appareils doivent être fonctionnels, une place suffisante étant nécessaire pour les traitements quotidiens et la préparation des malades. Les salles doivent être blindées pour empêcher le rayonnement d'en franchir les limites et d'atteindre le personnel occupé dans les pièces voisines. Il faut pouvoir accéder au bloc opératoire pour diverses applications intracavitaires et interstitielles.

La nécessité d'installations appropriées à la manipulation de corps radioactifs et à la bonne protection du personnel qui s'en occupe appelle un soin tout particulier. Dans la plupart des services, l'équipe de radiothérapeutes traite certaines formes de cancer à l'aide de sources non scellées dont le maniement requiert un équipement spécial.

Soulignons particulièrement le grand avantage qu'il peut y avoir à posséder certains appareils en deux exemplaires. Ainsi, il est préférable d'installer deux accélérateurs linéaires ou deux bêtatrons car ces appareils sont sujets l'un comme l'autre à des pannes ; or, il est vital que le traitement d'un patient puisse être continué sans interruption.

Le service de radiothérapie doit disposer de lits afin de pouvoir loger à l'hôpital les malades incapables de s'y rendre régulièrement en consultants externes, soit à cause de la distance qu'ils ont à parcourir, soit par suite de leur mauvais état de santé. Il est souvent commode d'avoir des lits de passage destinés à des personnes venant de localités éloignées sans que leur état nécessite toute la gamme des soins possibles.

Le rapport d'une réunion mixte AIEA/OMS sur l'organisation des services de radiothérapie [1] donne une description plus détaillée des besoins d'un centre radiothérapique en locaux et en équipements.

3.5.2 *Personnel*

Le personnel doit comprendre des médecins radiothérapeutes, des physiciens médicaux, des techniciens en radiothérapie, et doit pouvoir recourir aux services d'un ingénieur pour l'entretien. La publication citée ci-dessus comporte une description complète des responsabilités et attributions de ce personnel.

1) *Le radiothérapeute* est un clinicien ayant reçu une formation spéciale en radiothérapie. Il doit autant que possible y consacrer tout son temps, bénéficier du même standing et posséder la même expérience que ses collègues d'autres disciplines. (Il faut au moins trois ou quatre radiothérapeutes qualifiés pour un grand service.)

Son travail comporte des responsabilités cliniques en même temps que la planification et l'organisation des traitements pour chaque malade. Il collabore avec ses confrères cliniciens pour poser le diagnostic de la maladie et décider — chose essentielle — si elle est ou non justiciable de la radiothérapie. Il est responsable des soins aux malades qui y sont soumis et doit s'assurer qu'un dossier complet est tenu sur le sujet et son traitement ; en outre, il a la charge de l'organisation générale du service, de la sécurité et de la protection du personnel comme des patients. Il met au point les traitements individuels afin que la dose prescrite soit appliquée à un volume défini de tissus, tout en évitant autant que possible d'endommager les tissus normaux.

---

[1] *Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, 1966, N° 328.

Il arrive que certaines techniques de radiothérapie soient mises en œuvre par d'autres cliniciens, comme le dermatologue ou le gynécologue. Mais ils ne doivent le faire qu'avec la collaboration d'un radiothérapeute qualifié à défaut de pouvoir, ce qui est toujours préférable, lui confier l'entière responsabilité de ces soins.

2) *Le physicien médical* a reçu une formation de base en physique puis s'est spécialisé dans les problèmes de l'usage thérapeutique des rayonnements. Il doit avoir quelque connaissance des problèmes cliniques et être versé dans les questions d'estimation et de répartition des doses. Dans un grand service il faut au moins deux physiciens médicaux.

3) *Le personnel technique* (*techniciens ou manipulateurs en radiothérapie*) a une grande importance dans un service de radiothérapie, car de sa compétence dépend la précision et la qualité de chaque traitement. Comme les techniciens sont en contact étroit avec les malades, leur attitude de sympathie et leur savoir-faire envers eux détermine l'ambiance du service tout entier. Ils ont besoin d'une formation particulière, et leurs tâches principales consistent à appliquer minutieusement le traitement et à s'occuper du bien-être quotidien des patients. Certains techniciens peuvent avoir des aptitudes pour le calcul et être capables de participer utilement à la mise au point des plans de traitement. Ils ont en plus la charge de préparer chaque jour les appareils à rayons X ainsi que le matériel et les sources radioactives pour les traitements interstitiels et intracavitaires. Ils peuvent aussi effectuer certains actes thérapeutiques au moyen de sources radioactives non scellées.

Beaucoup de services pratiquent le recrutement interne de techniciens parmi le personnel infirmier qualifié ; les avantages de ce procédé sont nombreux, mais ce personnel est de plus en plus difficile à trouver, et il ne peut résoudre tous les problèmes. La formation de techniciens d'un niveau approprié est donc une nécessité urgente. Un service important a besoin d'au moins 8 à 10 de ces techniciens, sur la base de 2 pour chaque grand appareil.

4) *Personnel complémentaire*. Il faut de plus une assistante sociale expérimentée qui peut rendre d'inestimables services pour résoudre les problèmes individuels de beaucoup de cancéreux.

Là où il existe un équipement électrique complexe comme un accélérateur linéaire ou un bêtatron, la présence d'un ingénieur expérimenté est indispensable pour entretenir les appareils en parfait état de fonctionnement ; lorsque le service ne comporte pas de tels appareils, il est généralement possible de faire assurer l'entretien par le physicien et certains techniciens.

3.5.3 *Formation du personnel*

La formation du personnel affecté à de grands services est une question essentielle ; la majeure partie sinon la totalité de l'enseignement a lieu

dans les services eux-mêmes. Un diplôme, délivré après due vérification des connaissances, doit attester la compétence du personnel, tant professionnel que technique, avant qu'il ne prenne ses fonctions.

1) *Le radiothérapeute.* En plus d'une bonne expérience clinique en médecine et en chirurgie générales lui permettant de discuter sur un pied d'égalité avec ses confrères d'autres disciplines, il doit avoir suivi des cours spécialisés portant non seulement sur la radiothérapie clinique mais aussi sur la théorie même de la radiothérapie, y compris la radiobiologie et la physique des rayonnements appliqués à la thérapeutique. Pour se voir confier l'entière responsabilité d'un secteur d'activité dans un service de radiothérapie, il lui faut avoir consacré trois ans au moins à l'étude de la radiothérapie à temps complet. S'il s'agit d'exercer des fonctions de radiothérapeute sous surveillance, une période de formation plus brève, de l'ordre de deux ans, peut suffire.

2) *Le physicien médical.* Lui aussi a besoin d'une instruction spécialisée, partiellement théorique. Mais la condition essentielle est une formation pratique en cours d'emploi, d'une durée minimale de deux ans après l'achèvement d'études fondamentales de physique. Le physicien médical est responsable devant le radiothérapeute.

3) *Le technicien manipulateur en radiothérapie.* Sa formation peut être partiellement commune avec celle des techniciens des services de radiodiagnostic ou de médecine nucléaire, mais l'essentiel de l'enseignement doit être axé sur la radiothérapie proprement dite. Consacré en partie aux notions théoriques, cet enseignement doit surtout être conçu comme une formation pratique en cours d'emploi. Les techniciens doivent passer deux ans à leurs études avant d'être intégrés à un service.

4) *Ingénieurs et agents d'entretien.* Leur instruction peut prendre la forme de travaux pratiques dirigés dans un service de radiothérapie ou d'un stage dans des usines fabriquant un matériel électronique spécialisé.

3.5.4 *Enseignement et recherche*

Beaucoup de services sont attachés à des hôpitaux d'enseignement jumelés avec des facultés de médecine. Par conséquent, le personnel doit prendre part à l'enseignement universitaire et postuniversitaire en même temps qu'à la formation des techniciens et du personnel infirmier.

Il est généralement souhaitable d'offrir au personnel les moyens d'un travail de recherche. Il n'est pas possible de préciser la part exacte du temps à consacrer à cette activité ou à l'exécution du service ; elle dépend de la capacité et des goûts individuels. Il peut aussi être nécessaire d'engager du personnel extérieur pour effectuer certains projets de recherche ; il est cependant évident que des programmes d'investigation complexes, comme ceux ayant trait à l'oxygène hyperbare ou à l'utilisation thérapeutique des

neutrons, ne doivent être entrepris que là où les exigences du service en matière de traitement ont été satisfaites.

En résumé, il faut prévoir des locaux à la fois pour l'enseignement et la recherche et faire preuve d'une certaine souplesse dans les effectifs pour permettre d'entreprendre ces tâches supplémentaires.

3.5.5 *Services d'ampleur exceptionnelle*

Les grands services décrits dans toute cette section représentent l'élément de base indispensable pour offrir toutes les possibilités de la radiothérapie. Toutefois il est souvent avantageux de disposer d'un service encore beaucoup plus vaste, auquel cas on devra augmenter en proportion tous les chiffres indiqués ici. Un service aussi important peut répondre aux besoins d'une population urbaine s'élevant à 3 millions d'habitants.

Il n'est pas impossible de réaliser cette concentration souhaitable de moyens radiothérapiques, qui permet des économies en capital et en personnel, tout en assurant le service d'une grande région. Une solution est que les radiothérapeutes aillent régulièrement en consultation dans les hôpitaux de district voisins pour y voir des malades sélectionnés et convenir lorsqu'il y a lieu de leur transfert au centre principal en vue d'un traitement radical. Les effectifs doivent parfois être adaptés en prévision d'une telle procédure.

Dans d'autres cas, il n'y a pas avantage à mettre sur pied un service de grande ampleur. Pour décider s'il vaut mieux créer un service unique et très vaste ou plusieurs centres de traitement aux dimensions suggérées dans les sections précédentes, on prendra en considération divers éléments, entre autres la distribution géographique de la population, les moyens de transport et, jusqu'à un certain point, le taux de morbidité de la maladie à traiter. La croissance excessive d'un service peut avoir pour inconvénient le caractère trop impersonnel qu'il risque de prendre.

3.6 Dimensions minimales d'un service de radiothérapie

La section 3.5 donne la description de services équipés de la façon la plus moderne. Il existe pourtant de nombreuses régions dans le monde où les installations de radiothérapie sont tantôt inexistantes, tantôt mal adaptées aux besoins, et où le programme de lutte anticancéreuse en est à ses débuts. En pareil cas, il peut être nécessaire de concevoir une organisation beaucoup plus modeste, sans toutefois perdre de vue qu'il y a des limites au-dessous desquelles un centre de radiothérapie ne peut plus être efficace ni viable ; sa création est donc peu rationnelle si certaines conditions minimales ne sont pas réunies.

Pour être viable, un service doit pouvoir traiter au moins 500 nouveaux cancéreux par an. L'équipement indispensable est une bombe au cobalt-60

et un appareil de radiothérapie superficielle, selon la description donnée à la section 3.5.1. Le personnel comprendra au minimum un radiothérapeute et deux ou trois techniciens. Il n'est pas toujours indispensable qu'un physicien médical en fasse partie à temps plein, mais il est nécessaire de pouvoir régulièrement faire appel à lui à temps partiel, à titre d'exécutant ou de consultant. En pareil cas, certaines tâches habituelles du physicien dans le fonctionnement quotidien du service incombent au radiothérapeute, mais il faut souligner que le contrôle par le physicien médical des actes de radiothérapie reste indispensable.

Ces services réduits ont besoin de pouvoir recourir à l'assistance d'un hôpital général de la même façon que les services importants décrits ci-dessus. Si bien souvent les moyens mis à leur disposition à cet égard sont d'une ampleur beaucoup plus modeste, il faut du moins que ces services puissent recourir à de bons anatomopathologistes et à de bons radiologues spécialisés dans le diagnostic, et disposer de lits d'hospitalisation. Les dossiers de médecine générale et les fichiers de radiothérapie spécialisés restent tout aussi essentiels, de même qu'un service bien organisé pour suivre les malades ultérieurement. Là encore, des lits d'hébergement pour les patients venant de loin peuvent représenter un gros avantage.

Un tel service peut s'envisager lorsqu'il est le seul dans un pays ou un territoire. Quand de nouvelles installations de radiothérapie peuvent être mises sur pied, il importe d'agrandir celles qui existent déjà plutôt que d'en créer d'autres de taille réduite.

Lorsque l'on envisage de créer un service de dimensions minimales, il faut bien considérer le type d'appareils approprié. Des appareils électriques compliqués sont inutiles si l'alimentation en courant est incertaine et si l'entretien par des personnes compétentes n'est pas assuré. A ce type de service conviennent les équipements les plus simples et les plus sûrs permettant d'assurer la continuité du traitement. C'est pourquoi une bombe au cobalt-60 est l'appareil le mieux adapté.

Il n'est pas recommandé d'installer dans un tel service un générateur de moyenne énergie. Beaucoup d'affections malignes nécessitent une irradiation pénétrant à une certaine profondeur au-dessous de la surface du corps, ce qui exige un rendement en profondeur convenable. Dans les petits services qui ne peuvent être dotés que d'un seul type d'appareil, on choisira une installation de haute énergie qui peut convenir pour les lésions superficielles, alors qu'inversement des lésions profondes ne peuvent être traitées par des appareils de moyenne énergie dont le rendement en profondeur est insuffisant.

Un petit service a également besoin de sources radioactives pour des traitements interstitiels on intracavitaires et peut-être des applications à courte distance. Les sources nécessaires sont du même type que dans les grands services, mais les quantités à tenir en réserve dépendent du genre d'affections rencontrées dans le service.

On a décrit ci-dessus un service important disposant de toutes les installations possibles et un petit service à la limite de la viabilité. Tous les intermédiaires existent entre ces deux extrêmes. Un petit service étant appelé à s'agrandir en temps opportun, une certaine souplesse est nécessaire dans sa conception pour permettre ce développement.

Attirons une nouvelle fois l'attention sur l'objectif final qui est de disposer d'installations conçues pour traiter 1200 nouveaux cas de cancer par an. Il est évidemment peu souhaitable que toutes les installations de radiothérapie d'un pays soient réunies dans un seul gros centre, mais on doit tout autant éviter la prolifération de services minuscules.

La dimension et le type des services à créer dépendent de nombreuses considérations : conditions géographiques, y compris les conditions climatiques, degré de développement des autres services sociaux, particulièrement les services médicaux, etc.

3.7 Protection contre les rayonnements

Il faut quelque peu s'étendre sur le problème global de la protection dans un service de radiothérapie. Certains actes, effectués sans soin ou sans compétence, peuvent donner lieu à une irradiation considérable du personnel ; il faut donc établir des règles strictes, bien comprises par tous les intéressés, afin d'éviter toute exposition inutile. Si chacun se conforme convenablement à ces règles, le travail dans un service de radiothérapie n'est pas plus dangereux que n'importe quelle activité courante. Une partie de la formation du radiothérapeute, du physicien et des techniciens doit être consacrée à la radioprotection.

Signalons les recommandations formulées à cet égard par la Commission internationale de Protection radiologique et par diverses publications sur ce sujet de l'AIEA, du BIT et de l'OMS.[1]

---

[1] Voir les notes au bas des pages 9 et 39, et également :

Agence internationale de l'Energie atomique, Vienne

1956 *Organisation des services de protection radiologique* (*Collection Sécurité*, nº 13)

AIEA/BIT/OMS (AIEA, Vienne)

1968 *Surveillance médicale des travailleurs exposés aux rayonnements* (*Collection Sécurité de l'AIEA*, nº 25)

Bureau international du Travail, Genève

1959 *Règlement type de sécurité concernant les radiations ionisantes : Manuel de Protection contre les Radiations dans l'Industrie*, Partie II

1963 *Convention et recommandation concernant la protection des travailleurs contre les radiations ionisantes : Manuel de Protection contre les Radiations dans l'Industrie*, Partie I

1963 *Guide général pour la protection contre les radiations ionisantes : Manuel de Protection contre les Radiations dans l'Industrie*, Partie III

Organisation mondiale de la Santé, Genève

1961 Lindell, B. & Dobson, L., *Rayonnements ionisants et santé* (*Cahiers de Santé publique* Nº 6)

L'une des principales préoccupations du radiothérapeute et de son personnel doit être d'éviter les dangers d'une irradiation imprécise, et par là même excessive, du malade. L'organisation de la protection du service entier contre les rayonnements doit faire l'objet d'une surveillance sévère et constante. Les moyens de protection sont exposés dans le rapport d'une réunion mixte AIEA/OMS sur l'organisation des services de radiothérapie.[1]

4. LA MÉDECINE NUCLÉAIRE

4.1 Introduction

Voici une trentaine d'années que certains radio-isotopes artificiels de divers éléments chimiques sont employés à des fins de diagnostic, de traitement ou de recherche médicale. Au cours de la dernière décennie toutefois, la diversité et l'intérêt des applications de ce genre ont très rapidement augmenté. On peut, à des fins diagnostiques, suivre le déplacement et la répartition des radionucléides *in vivo* en mesurant le rayonnement émis à l'aide d'appareils de comptage très sensibles placés à l'extérieur du corps ; par ailleurs, il est possible d'en déterminer la concentration dans les liquides organiques et les excrétions, en mesurant *in vitro* l'activité d'échantillons appropriés. La mise en œuvre de ces méthodes ne fait subir aux tissus du patient qu'une très faible irradiation.

Sur le plan thérapeutique, il est possible de soumettre certains tissus, et notamment les tumeurs malignes, à de fortes doses de rayonnement par administration de radionucléides appropriés ou de composés chimiques les renfermant lorsque ceux-ci peuvent se concentrer suffisamment dans les tissus à détruire. On fait appel, en radiothérapie, à des activités plusieurs centaines de fois supérieures à celles qui sont généralement utilisées à des fins diagnostiques.

La médecine nucléaire se présente donc comme une branche bien établie dont l'apport aux méthodes classiques de diagnostic et de traitement est important. Rappelons qu'aux fins du présent rapport, l'expression « médecine nucléaire » recouvre toutes les applications des substances radioactives au diagnostic, à la thérapeutique ou à la recherche médicale, à l'exception de celles qui font intervenir, dans un but radiothérapeutique, des sources scellées de rayonnement. Etant donné que les techniques, les méthodes et les mesures de sécurité auxquelles fait appel cette discipline lui sont propres et diffèrent de celles qu'on a l'habitude d'employer en radiologie, elles seront brièvement exposées dans ce qui suit.

---

[1] *Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.*, 1966, N° 328, pp. 34-42.

4.2 Méthodes de la médecine nucléaire

4.2.1 *Applications des mesures de radioactivité* in vivo

Pour mesurer la fréquence du rayonnement émis par une région donnée de l'organisme, on a généralement recours à des méthodes ultra-sensibles qui reposent souvent sur la détection des scintillations engendrées, par exemple, dans un cristal. La quantité de radionucléide peut être déduite de ces mesures ; en ce qui concerne sa position et sa concentration dans l'organisme, la détermination s'effectue grâce à un blindage approprié (ou « collimation ») du compteur. Dans certains cas, le radionucléide est administré sous la forme d'une substance chimique simple, dans d'autres, on prépare des composés de structure plus complexe; ces « préparations pharmaceutiques radioactives » (radionucléides sous une forme qui se prête à l'administration aux patients) figurent désormais dans les pharmacopées nationales et internationale ; dans la plupart des pays industrialisés et dans certains pays en voie de développement, on les trouve généralement dans le commerce. Le tableau ci-après indique quelques types de maladies

APPLICATIONS UTILES ET EFFECTIVES DE LA MÉDECINE NUCLÉAIRE: EXEMPLES DE MALADIES OU DE GROUPES DE MALADIES *

Organe ou affection	Exploration fonctionnelle	Etudes topographiques	Epreuves in vitro	Thérapeutique
Thyroïde	+ + +	+ + +	+ +	+ + +
Parathyroïde		+ + +		
Troubles hormonaux			+ +	
Sang	+ + +	+ +	+ +	+ +
Foie	+ +	+ + +		
Os		+ + +		
Rein	+ + +	+ + +		
Placenta (localisation)		+ + +		
Appareil cardio-vasculaire	+ + +	+ +		
Système nerveux central	+ +	+ + +		
Tractus gastro-intestinal	+ + +	+		
Pancréas		+ + +		
Glandes salivaires		+		
Poumon	+ +	+ + +		
Tumeurs	+	+ + +	+ +	+ + +
Maladies transmissibles		+ +	+ +	

* Le tableau donne une idée générale de l'intérêt des radionucléides dans certaines maladies :
+ + + très grand intérêt, aucune autre méthode ne leur est entièrement substituable
+ + très grand intérêt, mais il existe des méthodes de valeur équivalente
+ intéressants comme technique d'appoint.

dans lesquelles les radionucléides peuvent être utiles à des fins de diagnostic ou de traitement. Les préparations pharmaceutiques radioactives d'usage courant sont décrites dans plusieurs publications.[1]

Deux groupes d'applications cliniques découlent de ces méthodes de comptage. Le premier repose sur le fait qu'en effectuant une série de mesures à l'aide de compteurs dirigés vers un organe ou un tissu malade, on peut déterminer la vitesse à laquelle ceux-ci accumulent ou éliminent tel ou tel radionucléide et être ainsi renseigné sur leur activité fonctionnelle. Ces techniques d'exploration fonctionnelle sont particulièrement précieuses pour le diagnostic ou l'étude des maladies de la thyroïde, du rein, du poumon ou de la circulation.

Une autre série d'applications réside dans la visualisation et l'étude de la distribution spatiale d'un radionucléide dans telle région de l'organisme ou dans les tissus d'un organe, au moyen de dispositifs de comptage qui se déplacent le long du corps et enregistrent la radioactivité sous-jacente (scintigraphie par balayage) ou d'appareils qui donnent immédiatement une image globale de la région examinée (gamma-caméras). Ces méthodes exigent un matériel plus complexe et plus coûteux mais elles s'imposent lorsque la concentration du radionucléide est à la fois rapide et passagère.

L'étude des images données par la caméra trouve également des applications dans l'exploration fonctionnelle car elle permet d'évaluer l'activité des différentes parties d'un organe. La scintigraphie, par balayage ou au moyen d'une gamma-caméra, est désormais applicable à un grand nombre d'organes et de tissus — à condition d'employer les radionucléides appropriés ou certains de leurs composés chimiques — et joue un rôle important en pathologie dans nombre de cas — glande thyroïde, poumons, foie, os — et dans le repérage des tumeurs cérébrales ou autres. Pour certaines applications importantes, où le radionucléide utilisé est à courte période, il est commode de l'obtenir à partir d'un « précurseur », c'est-à-dire d'un radioélément de période plus longue qui lui donne naissance en se désintégrant.

4.2.2 *Mesures* in vitro

Par ailleurs on peut facilement procéder à des mesures d'activité sur les excrétions, sur des échantillons liquidiens ou tissulaires ou encore sur leurs différents composants chimiques. Un grand nombre d'épreuves *in vitro* sont maintenant d'usage courant et rendent service pour l'étude de certaines maladies du sang, de l'absorption intestinale, de l'activité thyroïdienne et des troubles de l'équilibre électrolytique. Les dosages radio-immunologiques, qui permettent de déceler la présence d'une quantité anormale d'hormones dans le sang, voient leur champ d'application s'étendre rapidement.

Certaines de ces méthodes n'exigent même pas l'administration d'une

[1] Voir : *Spécifications pour le contrôle de la qualité des préparations pharmaceutiques. Deuxième édition de la Pharmacopée internationale, Supplément 1971*, 1971, Genève, Organisation mondiale de la Santé, pp. 58-69.

substance radioactive au patient, la préparation contenant le radionucléide étant simplement ajoutée à l'échantillon, de sang par exemple ; le diagnostic s'effectue alors en étudiant la distribution du radioélément dans les différents composants chimiques ou autres de l'échantillon.

4.2.3 *Mesures de protection et évacuation des déchets* [1]

Toute source non scellée de substances radioactives exige des précautions particulières, notamment pour éviter tout risque de contamination radioactive et pour évacuer les déchets. Il est nécessaire de veiller à ce que les utilisateurs de ces substances n'en absorbent pas accidentellement ou ne subissent pas de leur fait une irradiation excessive ; ces deux formes d'exposition doivent donner lieu à des mesures. Les normes de sécurité sont encore plus rigoureuses lorsqu'on utilise des radionucléides à des fins thérapeutiques en raison de l'activité beaucoup plus forte des substances manipulées et administrées. Dans ce dernier cas, le patient risque en outre de devenir lui-même une source importante de rayonnement et un contrôle approprié devra s'exercer sur ses excrétions, en fonction de la nature du radionucléide employé et de sa voie d'élimination. Le traitement du cancer par injection ou administration orale de substances présentant une activité élevée oblige en général à hospitaliser le malade, dont le lit doit quelquefois être entouré d'un blindage ou placé à une distance suffisante des lits voisins (par exemple à plus de deux mètres). Les doses administrées pour le traitement de la thyroïde dans l'hyperthyroïdie et de la moelle osseuse dans la polycythémie sont beaucoup plus faibles et ne nécessitent pas obligatoirement l'hospitalisation du patient.

4.3 Types d'établissements [2]

Les établissements où se déroulent des activités touchant la médecine nucléaire sont très différents selon les activités — clinique, recherche ou

---

[1] Voir également :

Agence internationale de l'Energie atomique, Vienne

1960 *Manipulation sans danger des radioisotopes : Additif de physique sanitaire* (*Collection Sécurité*, n° 2)

1960 *Manipulation sans danger des radioisotopes : Additif médical* (*Collection Sécurité*, n° 3)

1962 *Manipulation sans danger des radioisotopes* (*Collection Sécurité*, n° 1)

1968 *Notions fondamentales sur le traitement et l'élimination des déchets radioactifs* (*Collection Sécurité*, n° 24)

Commission internationale de Protection radiologique (Pergamon Press, Oxford)

1964 *Report of Committee 5 on the handling and disposal of radioactive material in hospitals and medical research establishments* (Publication CIPR N° 5)

1971 *Protection of the patient in radionuclide investigations* (Publication CIPR N° 17)

[2] Voir également : Royaume-Uni, Department of Health and Social Security (1970) *Report of the Working Party on the Organization of Radioactive Isotope Services*, Londres, H. M. Stationery Office (*Reports on Public Health and Medical Subjects*, No. 126).

autres — qui sont les leurs. Il est toutefois vraisemblable qu'une grande partie de l'activité générale de ce secteur pourrait être efficacement menée à bien soit dans un nombre relativement faible de centres perfectionnés capables d'appliquer des méthodes très diverses, soit dans des unités moins vastes mais plus répandues qui se contenteraient d'employer les méthodes pour lesquelles la demande est la plus forte. Dans certains cas, il peut être indiqué de mettre en œuvre des techniques radio-isotopiques particulières même dans des unités encore plus petites. Le Comité est d'avis que les dispositions suivantes correspondraient à une répartition efficace des établissements pratiquant la médecine nucléaire dans un pays développé affectant des ressources importantes aux soins médicaux.

4.3.1 *Centralisation des activités en médecine nucléaire*

Dans tout établissement qui pratique la médecine nucléaire, il y a généralement avantage, pour des raisons de rentabilité et d'efficacité, à regrouper la plupart des activités dans un seul secteur. Cela permet de mieux utiliser un matériel spécial souvent coûteux, facilite la commande, la préparation et le stockage des radionucléides, et assure la bonne marche du système de radioprotection et d'évacuation des déchets tout en permettant de rationaliser l'emploi du personnel qualifié et l'entretien du matériel.

4.3.2 *Services de pointe*

Ces grands services seront généralement situés dans des établissements médicaux de pointe. Ils seront dotés d'un équipement leur permettant de mettre en œuvre toute la gamme des techniques radio-isotopiques existantes et d'entreprendre la formation du personnel médical ou autre, la mise au point de nouvelles méthodes et des travaux de recherche en médecine nucléaire, notamment dans le domaine clinique. Au nombre de leurs activités figureront entre autres la préparation de produits pharmaceutiques radioactifs marqués au moyen de nucléides à courte période, engendrés par des précurseurs ou produits par irradiation dans des réacteurs nucléaires ou des accélérateurs de particules. Le service devra également disposer d'un laboratoire de chimie et de radiopharmacie convenable (du type B selon la définition de l'AIEA [1]) doté des dispositifs de protection appropriés et conformes aux règlements internationaux et nationaux, afin de permettre la manipulation sûre de substances présentant une activité gamma de plusieurs centaines de millicuries (jusqu'à 1 Ci de radionucléides de toxicité modérée) et d'assurer la mise en œuvre de techniques chimiques complexes. Certaines d'entre elles devront d'ailleurs se dérouler en milieu stérile.

L'établissement devra également disposer d'un laboratoire distinct de chimie (du type C [1]) pour la manipulation de substances d'activité inférieure

[1] Agence internationale de l'Energie atomique (1962) *Manipulation sans danger des radioisotopes*, Vienne (*Collection Sécurité de l'AIEA*, n° 1), p. 40.

à un millicurie et la mise en œuvre des mêmes méthodes qu'avec les produits d'activité supérieure. Ces deux laboratoires devront posséder un système de contrôle de qualité afin d'assurer la pureté chimique et radiochimique, la stérilité et l'apyrogénicité des préparations pharmaceutiques radioactives destinées à l'homme.

Ces laboratoires devront être équipés de manière à pouvoir mesurer l'activité des produits radiopharmaceutiques qu'ils auront préparés ainsi que celle des doses destinées aux applications individuelles. Une salle sera équipée pour permettre l'administration par voie orale ou parentérale de produits radioactifs, une salle distincte étant réservée aux usages thérapeutiques.

Plusieurs salles seront également installées pour le comptage externe du rayonnement émis par les malades. L'idéal serait de disposer de salles séparées pour chaque usage : scintigraphie par balayage ou caméra, études dynamiques, anthroporadiamétrie et mesures consécutives à l'application thérapeutique de substances très actives. Une salle distincte de mesures peut être nécessaire pour la surveillance postthérapeutique des malades.

L'établissement devra également posséder des installations convenables pour l'évacuation en toute sécurité des déchets radioactifs liquides ou solides, qu'ils proviennent du laboratoire ou qu'ils soient excrétés par les malades, ainsi que pour le stockage des sources non scellées, conformément aux normes de sécurité. Un grand service de médecine nucléaire de ce genre devrait en principe disposer d'une surface minimale de 750 m^2, sans compter celle occupée par ses malades à l'hôpital ni les locaux nécessaires à des fins de formation et de recherches spéciales. Si la diversité des examens pratiqués ou la charge de travail qu'impose tel d'entre eux se révèlent exceptionnelles, ce chiffre pourra être sensiblement supérieur.

4.3.3 *Unités de médecine nucléaire générale*

Une gamme étendue de méthodes de diagnostic accompagnées d'actes thérapeutiques à faible ou forte activité reste à la portée d'unités générales de petite taille situées dans des établissements médicaux qui, sans se livrer aux techniques de pointe, exercent tout de même une activité pluridisciplinaire.

Ces unités doivent être dotées, pour l'essentiel, de laboratoires et de salles de comptage analogues à ceux des grands services de médecine nucléaire, mais les installations peuvent être plus simples à beaucoup d'égards. On se contentera d'employer des méthodes chimiques simples, en partie dans des conditions stériles (laboratoire du type B). Il faut également un laboratoire de chimie mettant en œuvre les mêmes méthodes, mais sur des substances de basse activité (laboratoire du type C). Ces deux laboratoires doivent assurer les contrôles de qualité et l'étalonnage de leurs préparations.

Il est souhaitable de disposer de salles séparées pour le diagnostic et les applications thérapeutiques, l'administration par voie orale ou parentérale s'effectuant dans chacune d'elles. Le nombre de salles nécessaires aux mesures dépend du nombre et de la nature des appareils dont on dispose à cet effet. Il est recommandé de prévoir une salle de mesures séparées pour la surveillance postthérapeutique. On installera également une salle de comptage pour les mesures *in vitro* ainsi que les mesures sur échantillon.

Un système d'évacuation des déchets en rapport avec la quantité, la période et la toxicité des radionucléides utilisés devra être mis en place conformément aux règles de sécurité. Là où des radionucléides sont utilisés à des fins thérapeutiques, l'examen et le rejet des excreta des malades devront pouvoir se faire sans danger grâce à des installations appropriées.

En général, la surface nécessaire est moins importante que pour un grand service, le minimum se situant probablement aux alentours de 500 m^2. La nécessité d'adjoindre à ces unités des lits d'hôpital n'est pas la même selon qu'on pratique une radiothérapie anticancéreuse à forte dose ou qu'on procède à des épreuves courantes de diagnostic ou à un traitement à basse activité, lesquels n'exigent en principe qu'un petit nombre de lits sauf dans le cas de maladies nécessitant l'hospitalisation. Pour ce qui est des épreuves impliquant des mesures étalées sur une période de plusieurs jours, les malades qui n'habitent pas à proximité de l'hôpital devront pouvoir se loger sur place, par exemple dans des chambres de passage, etc. ; le recueil des excréta peut également nécessiter l'admission à l'hôpital.

4.3.4 *Services de médecine nucléaire des centres spécialisés*

Dans certains pays, les travaux spécialisés portant sur l'oncologie, les maladies thyroïdiennes ou l'hématologie, par exemple, peuvent nécessiter le recours à des méthodes radio-isotopiques particulières, encore qu'il ne soit pas nécessaire que celles-ci soient très diversifiées. Le champ d'activité de ces services est en grande partie fonction de la spécialité pratiquée par les établissements qui les abritent. S'il s'agit par exemple d'un centre anticancéreux, il y a des chances pour que l'on y mette en œuvre un certain nombre de méthodes de diagnostic et qu'une grande importance soit accordée aux applications thérapeutiques mettant en jeu, pour la plupart, des activités élevées. Dans ce cas, le service de médecine nucléaire sera très analogue aux grands services déjà décrits.

4.3.5 *Les services de médecine nucléaire au niveau de la pratique privée, des dispensaires donnant exclusivement des soins ambulatoires, ou des autres petites cliniques locales*

Les radionucléides sont rarement utilisés par les petites cliniques ou dans le cabinet du médecin et il est bien certain qu'ils ne devraient jamais l'être sans que le personnel et les systèmes de protection aient été agréés et jugés satisfaisants compte tenu des techniques mises en œuvre.

En cas d'emploi de radionucléides, ces petites cliniques devraient probablement se limiter à l'exécution des épreuves de diagnostic les plus simples. D'une façon générale, elles ne devront employer que des produits pharmaceutiques radioactifs préparés par des fabricants ou fournis par des centres plus importants et ne pas se lancer dans la préparation chimique de substances destinées à être administrées à l'homme. Les manipulations de substances radioactives se limiteront *a)* à l'extraction à partir d'une source de la quantité requise d'activité pour chaque application individuelle et *b)* aux opérations nécessaires à l'exécution des épreuves *in vitro* qui n'impliquent pas l'administration de radionucléides au patient. Dans le cas de nucléides engendrés par un précurseur, les techniques utilisées se limiteront à l'élution du précurseur et à la répartition de l'éluat en doses distinctes. Un petit laboratoire de type C suffira pour assurer ce travail ainsi que l'étalonnage des lots.

Une ou deux salles de mesures seront nécessaires pour les études fonctionnelles ou topographiques sur les malades. Des méthodes de comptage et des épreuves *in vitro* simples pourront y être mises en œuvre.

4.4 Aménagement des établissements pratiquant la médecine nucléaire

La conception des locaux nécessaires à la pratique de la médecine nucléaire comporte plusieurs points importants. En premier lieu, une protection correcte des malades, du personnel et des visiteurs contre les rayonnements oblige à respecter certaines normes. En outre, les compteurs sensibles servant aux mesures peuvent nécessiter eux-mêmes un blindage spécial. Enfin, les besoins des malades en cours d'examen ou de traitement interviennent également dans l'aménagement des locaux. Tous ces facteurs varient avec le type et l'étendue des examens pratiqués dans l'établissement.

Dans les grands services de médecine nucléaire où est pratiqué tout l'éventail des méthodes existantes, y compris la radiothérapie à forte activité, le système de protection reposera notamment sur la surveillance individuelle des doses reçues par le personnel ; en général, on utilise à cet effet des dosimètres individuels à film portés pendant le travail. Il convient d'organiser l'évacuation des déchets radioactifs, que ceux-ci prennent naissance au cours de l'administration des radionucléides ou des mesures ou qu'ils soient excrétés ultérieurement par les malades. Plusieurs raisons peuvent amener à hospitaliser les patients : les suites du traitement subi, la nécessité de mesurer ou de recueillir des échantillons, ou encore d'assurer la protection étant donné l'activité des substances administrées. On aura donc habituellement à mettre à la disposition de ces patients un certain nombre de lits et dans nombre de cas, à disposer ces lits de manière que les malades puissent être facilement transportés jusqu'aux salles où s'effectuent les examens *in vivo*, par balayage ou toute autre méthode. Comme on l'a déjà dit, les

lits des malades soumis à une radiothérapie à haute activité doivent être suffisamment distants des autres ou dotés d'un blindage approprié.

Afin de prévenir la contamination, il est nécessaire que dans les salles où des radioéléments présentant une forte activité sont entreposés et distribués ou soumis à des manipulations chimiques, les surfaces exposées fassent l'objet d'un traitement approprié selon les techniques classiques. Il est toujours indispensable à des fins de sécurité de munir ces salles d'un blindage suffisant et de veiller à les situer suffisamment loin de celles où l'on mesure de faibles activités, à l'aide d'appareils ultra-sensibles.

Le nombre de lits d'hôpital affectés au service de médecine nucléaire sera en partie fonction de l'importance et du champ d'activités du centre hospitalier qui abrite ce service ainsi que des tâches cliniques qui lui sont dévolues. Il faut prévoir suffisamment de place pour les recherches du service de médecine nucléaire lui-même ainsi que des autres services qui peuvent avoir besoin d'utiliser des radio-isotopes. Pour des raisons de radioprotection et afin de rentabiliser l'usage du matériel de comptage les travaux à base de radionucléides des autres services hospitaliers devront en principe être effectués dans les laboratoires du service de médecine nucléaire, en particulier lorsque ces travaux impliquent l'emploi de radioéléments de longue période ou l'utilisation à temps partiel d'un matériel coûteux.

Dans les centres spécialisés autonomes et à l'exception des services anticancéreux, la radiothérapie éventuellement pratiquée est normalement à basse énergie, comme c'est le cas par exemple dans le traitement des maladies de la thyroïde ou du sang. Les problèmes d'évacuation des déchets en sont diminués d'autant, mais n'autorisent toutefois aucun relâchement dans la rigueur des mesures de protection. De même, l'emploi de radionucléides à des fins diagnostiques par les petits établissements ne devrait pas poser de problèmes particuliers, mais là encore, les mesures de protection et la conception des laboratoires et des salles où sont manipulés des radionucléides devront être rigoureusement conformes aux normes classiques applicables aux activités, aux types de nucléide et aux manipulations en cause. Toute étude ou recherche de caractère spécial menée dans l'un des établissements précités nécessite l'aménagement de locaux distincts.

4.5 Personnel

Les centres spécialisés qui se livrent à des activités de pointe et mettent en œuvre la gamme complète des techniques radio-isotopiques ont besoin d'un personnel médical et autre diversifié, en plus de celui auquel sont confiées les tâches de formation et de recherche en laboratoire. Il est essentiel que tout le personnel amené à manipuler des substances radioactives soit au courant des principes de base de la protection contre les rayonnements et sache les mettre en pratique dans son propre domaine d'activité.

4.5.1 *Personnel médical*

Le personnel médical peut intervenir de deux manières en médecine nucléaire. D'une part, on a normalement besoin, en particulier dans les grands services de médecine nucléaire rattachés aux centres hospitaliers de pointe, de médecins ayant l'expérience de nombreux domaines de la médecine nucléaire et de la gamme des applications possibles en médecine générale. Des tâches leur seront normalement confiées à titre de spécialistes à temps plein de médecine nucléaire. Ils devront être capables de diriger et de former d'autres médecins, tant en ce qui touche la médecine nucléaire générale que l'application de ses techniques à leur propre spécialité. Leurs connaissances devront s'étendre à l'aspect clinique général de la médecine nucléaire, aux questions de protection ainsi qu'aux principaux problèmes qui se posent dans le domaine métabolique, physique et mathématique.

Par ailleurs, de nombreux médecins spécialistes devraient s'intéresser aux méthodes de radiodiagnostic ou de radiothérapie dont ils peuvent tirer profit dans l'exercice de leur propre spécialité. Il est normal, par exemple, que là où l'emploi des techniques radio-isotopiques remonte déjà à un certain nombre d'années, la plupart des hématologistes, des spécialistes des voies respiratoires et des endocrinologistes, de même que de nombreux gastro-entérologues et neurochirurgiens aient plus ou moins recours aux méthodes de détection par balayage ou toute autre technique ; à l'instar des spécialistes de biochimie clinique et d'anatomopathologie, nombreux seront les cancérologues, les radiothérapeutes et les radiologues à faire appel aux méthodes de la médecine nucléaire. Beaucoup d'entre eux ne verront pas de différence essentielle entre l'acquisition des connaissances et de l'expérience nécessaire à l'usage des radio-isotopes dans leur spécialité et l'assimilation de techniques ressortissant à d'autres domaines. Il n'en reste pas moins qu'ils auront en outre à apprendre les principes de protection contre les rayonnements ainsi que des notions telles que l'activité administrée, la dose absorbée et les lésions tissulaires. Cette formation spécialisée revêt une importance particulière chaque fois qu'est entreprise, sous une forme ou sous une autre, une thérapeutique au moyen de radionucléides.

En principe, le directeur d'un service de médecine nucléaire se consacrant essentiellement à des tâches cliniques doit posséder un diplôme médical.

4.5.2 *Physiciens médicaux*

Il est également nécessaire de disposer de physiciens médicaux, aptes à apporter leur contribution lors des multiples applications des radio-nucléides, notamment en ce qui concerne la pratique des méthodes de protection, les mesures d'activité, les procédés simples de préparation, l'évaluation des doses tissulaires, les techniques de comptage, la conception et le calcul des collimateurs et des blindages, et probablement aussi la conception et l'entretien du matériel électronique. Toutes ces tâches exigent

sans conteste un niveau élevé de qualification et le physicien médical aura probablement besoin de deux ans de spécialisation après l'obtention de son diplôme scientifique. Il ne fait aucun doute que l'organisation d'un enseignement de ce genre dans un centre national de médecine nucléaire ayant des activités très diverses serait d'une grande utilité.

4.5.3 *Autres personnels scientifiques*

Il est probable que tout centre important aura besoin d'un radiopharmacien ainsi que d'un radiochimiste dont la tâche sera en particulier de préparer les substances radioactives stériles destinées à être administrées par voie parentérale et d'effectuer la synthèse de composés marqués. Dans les centres plus modestes, la collaboration de ces spécialistes n'est pas toujours indispensable ou peut être convenablement assurée à temps partiel.

4.5.4 *Personnels techniques, infirmiers et autres*

Toute activité notable dans le domaine de la médecine nucléaire suppose la participation de techniciens connaissant les méthodes de comptage ainsi que le matériel électronique et le travail d'atelier. Il importe que ceux d'entre eux qui effectuent des mesures sur les malades possèdent la compétence scientifique nécessaire à l'exécution de mesures précises tout en ayant la compréhension et le tact d'une infirmière confirmée afin de venir en aide aux malades diminués ou anxieux lors de la mise en œuvre de techniques pénibles ou incommodantes. L'effectif du personnel infirmier et des agents d'entretien devra être en rapport avec le nombre de lits et l'importance du service. Le personnel de bureau a lui aussi un rôle très important compte tenu du volume des observations et des rapports, et de la nécessité de consigner les doses utilisées et les mesures de protection prises.

4.5.5 *Effectifs*

Il est évident que l'effectif d'un service de médecine nucléaire dépend de sa taille, du genre de recherches ou des tâches cliniques qui y sont menées, de l'importance des travaux d'entretien et de construction d'appareils, ainsi que de la participation éventuelle du personnel d'autres services de l'établissement.

Les ordres de grandeur suivants reposent sur les chiffres proposés dans un pays où les installations de médecine nucléaire sont relativement développées.[1]

La dotation en personnel d'un grand service de médecine nucléaire desservant plusieurs millions de personnes doit être d'au moins 3 à 4 physiciens médicaux, 6 à 7 techniciens, un radiopharmacien, un radiochimiste

[1] Royaume-Uni, Department of Health and Social Security (1970) *Report of the Working Party on the Organization of Radioactive Isotope Services*, Londres, H. M. Stationery Office (*Reports on Public Health and Medical Subjects*, N° 126).

et comporter en outre le personnel infirmier, les employés de bureau et les auxiliaires nécessaires. Le personnel médical devra comprendre au moins un spécialiste de la médecine nucléaire, un médecin moins expérimenté capable d'assurer la conduite et la supervision de techniques *in vivo*, ainsi que des cliniciens, radiologues ou autres médecins en nombre variable, qui font usage des méthodes radio-isotopiques dans leur propre spécialité.

Les services de médecine nucléaire générale de taille réduite, qui desservent à peu près un demi-million de personnes, pourraient employer un physicien médical, éventuellement à temps partiel, un à trois techniciens, ainsi que le personnel infirmier et auxiliaire et les employés de bureau nécessaires. Le personnel médical devrait comprendre un ou plusieurs consultants, éventuellement à temps partiel, ainsi qu'un médecin, pas nécessairement chevronné ; l'assistance à temps partiel d'un radiopharmacien et d'un radiochimiste serait également nécessaire.

La dotation en personnel des services de taille encore inférieure dépendra de l'envergure des travaux qui y sont entrepris.

4.6 Dotation en matériel

La dotation des centres de médecine nucléaire en matériel électronique appelle un certain nombre de considérations, dont certaines peuvent être d'une importance primordiale dans le cas de centres situés dans des localités isolées. Il importe de choisir un matériel qui bénéficie d'un service après vente convenable et dont l'approvisionnement en pièces de rechange puisse être garanti en quantité suffisante. On devra penser à la compatibilité du petit matériel ; à cet égard, il est utile de signaler qu'une installation en double rend moins aigu le problème des pannes. Il convient désormais d'utiliser un matériel transistorisé à circuits imprimés, de préférence aux tubes à effet thermo-ionique. On veillera tout particulièrement à la sélection du matériel destiné à un usage en milieu tropical. Bien souvent, le matériel disponible dans le commerce n'a pas été conçu dans cette intention et ne convient qu'imparfaitement à une telle utilisation ; il y a un réel besoin d'appareils « tropicalisés ». Il faudrait également des unités fonctionnant sur accumulateur pour le travail sur le terrain. Si le courant fourni par le secteur n'est pas suffisamment stable, on pourra être amené à installer des stabilisateurs de tension.

L'équipement nécessaire à un centre de médecine nucléaire peut se répartir en trois catégories :

1) les appareils de mesure de la radioactivité, destinés à des déterminations soit *in vitro* sur échantillon, soit *in vivo* sur un organe particulier ou une région de l'organisme ;

2) les dispositifs permettant la manipulation des substances radioactives et leur administration aux malades en toute sécurité ;

3) le matériel de laboratoire de biologie et de chimie.

Dans chacune de ces catégories les dispositifs vont des plus simples aux plus compliqués. Le choix du matériel destiné à un service donné est fonction d'un grand nombre de facteurs : moyens financiers, compétence technique du personnel, possibilités d'entretien, degré de spécialisation du service, nombre d'épreuves de diagnostic ou d'actes thérapeutiques exécutés chaque jour, etc. On est souvent amené à chercher un compromis entre ces différents facteurs.

4.6.1 *Appareils de mesure de la radioactivité*

1) En ce qui concerne les mesures effectuées sur échantillon, les techniques ordinaires font appel à un compteur à décharge ou à scintillations. Dans les deux cas le détecteur est relié à un dispositif électronique simple, à conduite manuelle, qui compte les impulsions. Ces appareils sont bon marché, d'un emploi facile et ne réclament qu'un entretien réduit ; mais leur conduite manuelle les rend lents. Néanmoins, ils restent utiles lorsque les services d'entretien sont médiocres, les ressources financières faibles et que l'on n'est pas tenu de procéder à des mesures fréquentes.

Dans l'hypothèse inverse, il est beaucoup plus efficace de recourir à des appareils plus coûteux qui comportent un détecteur associé à un changeur automatique de fractions. Ces appareils permettent jour et nuit d'effectuer les mesures et d'enregistrer les résultats relatifs à un grand nombre d'échantillons sans nécessiter la participation d'opérateurs.

Les études physiopathologiques sur le métabolisme de certaines substances, telles que les stéroïdes, ne peuvent s'effectuer qu'à l'aide de corps émettant un rayonnement bêta pur de faible énergie. On peut alors préférer l'usage exclusif de tubes compteurs à scintillateur liquide, qui sont des appareils coûteux dont la manipulation exige un personnel technique assez spécialisé.

2) Pour les mesures *in vivo*, on peut envisager deux types d'installation.

Le premier comporte des appareils de mesure de la radioactivité émise par une région ou un organe déterminés du corps. Des exemples typiques sont fournis par les instruments servant à déterminer la radioactivité et son évolution dans le temps au niveau de la thyroïde après injection de radioiode, ou au niveau des reins après injection d'un composé néphrotrope marqué, ou encore à l'intérieur des cavités cardiaques après introduction dans la circulation d'un composé marqué approprié.

L'élément de base de ces appareils est un compteur à scintillations muni d'un système convenable de collimation. Combiné à un dispositif électronique simple pour le comptage des impulsions, il fournit un appareil relativement peu coûteux, dont le prix est fonction des qualités mécaniques des autres éléments. Ce dispositif simple rend des services pour l'étude des processus métaboliques lents, tels que le métabolisme thyroïdien de l'iode. Cependant, lorsqu'on étudie la cinétique de processus comme l'élimination

de diverses substances par le rein ou le passage d'un produit radioactif dans les cavités cardiaques, il est nécessaire de pouvoir enregistrer la radioactivité d'une façon rapide et continue. Comme il faut pour cela disposer d'un appareillage électronique, le prix de l'installation s'en trouve considérablement augmenté. Les plus élaborés des dispositifs de ce genre comportent un enregistreur à bande magnétique et un ordinateur qui assure le traitement des données.

L'anthroporadiamètre en constitue un exemple important. Là encore, la complexité et le prix de l'instrumentation varient considérablement selon les résultats exigés. Une des applications les plus intéressantes des anthroporadiamètres est la mesure directe de la rétention d'un traceur par l'organisme humain, lorsque l'étude clinique de certains métabolismes, par exemple du fer, du calcium ou de l'iode, peut présenter de l'intérêt. Etant donné que l'on effectue dans ce cas des mesures relatives, il est possible d'employer des appareils assez peu coûteux. La sensibilité des compteurs à scintillations utilisés permet de mesurer facilement les activités mises en jeu. Toutefois, si les mesures portent sur de très faibles activités, comme c'est le cas lorsqu'on étudie la rétention prolongée d'un traceur ou la teneur de l'organisme en potassium d'après la radioactivité du potassium qui y est naturellement contenu, les installations d'anthroporadiamétrie sont généralement plus coûteuses.

Les dispositifs du deuxième type utilisés pour les mesures *in vivo* permettent de visualiser qualitativement et quantitativement la distribution de la radioactivité au niveau d'un organe ou dans une région de l'organisme. L'un des plus simples et des moins coûteux de ces appareils est le scintigraphe à balayage rectiligne qui comporte un détecteur à cristal scintillateur, un collimateur approprié et des composants électroniques simples. Il convient à l'étude des organes de petite taille comme la glande thyroïde, où la cinétique du traceur est lente. Par contre, on ne peut l'employer lorsque le traceur a une cinétique rapide par rapport au temps nécessaire à l'enregistrement de l'image, qui est de l'ordre d'une demi-heure ; par exemple il ne se prête pas à l'obtention d'images rénales ou hépatiques au moyen d'un composé marqué, éliminé par le rein ou les voies biliaires. En outre, même dans le cas où le traceur a une cinétique lente, le scintigraphe traditionnel est moins commode pour obtenir l'image d'organes de grandes dimensions, tels que le foie ou le poumon, s'il y a un grand nombre de malades à examiner chaque jour. Enfin, on a souvent besoin d'avoir des images d'un organe prises sous différents angles, comme c'est le cas dans le radiodiagnostic ; dans ces conditions on serait souvent amené à placer le patient dans des positions incommodes et la lenteur du scintigraphe à balayage rectiligne serait prohibitive.

Les caméras à scintillations coûtent environ deux fois plus cher que les appareils à balayage rectiligne, mais sont dépourvues des inconvénients précités. Elles opèrent beaucoup plus rapidement puisque les informations

en provenance des différentes parties de l'organe radioactif leur proviennent simultanément et non pas l'une après l'autre comme c'est le cas avec les détecteurs mobiles. Par exemple il faut de 30 à 45 minutes pour obtenir une image du foie avec un dispositif à balayage rectiligne, alors qu'il suffit de quelques minutes au moyen d'une caméra à scintillations. Avec les radionucléides de très courte période, on peut utiliser une radioactivité élevée, de l'ordre de plusieurs millicuries, ce qui permet de réduire le temps d'exposition à environ une seconde. Enfin, les caméras à scintillations permettent d'obtenir une suite d'images correspondant au passage du traceur à travers un organe de sorte qu'en plus de l'aspect morphologique de l'organe étudié on peut en obtenir une représentation fonctionnelle.

Ces caméras peuvent également être associées à des dispositifs de traitement de l'image reliés à un petit ordinateur intercalé sur le circuit de mesures. Outre qu'il rend possible la correction des distorsions de l'image dues aux imperfections de la caméra, ce dispositif permet en cas de besoin de mesurer l'évolution dans le temps de la radioactivité dans tel ou tel secteur de l'image. Cette « scintigraphie quantitative » peut se substituer à la mesure de la radioactivité totale d'un organe au moyen d'un simple compteur à scintillations. Elle permet notamment de suivre l'évolution de la concentration d'un radionucléide dans une des cavités du cœur. Il reste que ce dispositif coûte quatre à cinq fois plus cher qu'un bon appareil à balayage, que sa complexité entraîne des frais d'exploitation considérables et que seul un excellent spécialiste peut en assurer l'entretien.

4.6.2 *Equipement nécessaire à la manipulation sans danger des substances radioactives*

1) Pour manipuler des substances radioactives non scellées, il faut en général une hotte ventilée ou une boîte à gants convenablement protégées; le modèle varie selon le niveau de la radioactivité et les techniques mises en œuvre, qui peuvent aller d'une simple dilution ou répartition des solutions mères à des réactions chimiques complexes ou au fractionnement de gaz radioactifs. Pour les travaux les plus courants, qui se limitent à la dilution de substances de faible activité destinées aux épreuves diagnostiques, il suffit normalement d'une simple hotte. Lorsqu'on utilise un précurseur qui engendre un produit de filiation de courte période et de forte activité, il se pose un problème particulier car les exigences en matière de protection deviennent importantes.

2) Les télémanipulateurs varient selon le niveau de la radioactivité de la substance en cause. Seuls les travaux très spécialisés pourront nécessiter l'emploi d'appareils complexes ; en fait la plupart des techniques mises en œuvre dans le cadre de la médecine nucléaire n'exigent qu'un matériel simple tel que pinces, etc., que l'on manipule à travers des ouvertures ménagées dans des écrans, par exemple en plomb.

Il convient de noter que dans certaines applications thérapeutiques, l'administration ou l'injection de substances de haute activité nécessite l'emploi de seringues blindées et la protection de l'opérateur.

3) Il est généralement nécessaire de disposer d'une réserve de briques en plomb ou en tout autre matériau approprié afin de protéger les substances radioactives entreposées, et quelquefois aussi en radiothérapie les échantillons ou les excreta.

4) Pour surveiller la radioexposition du personnel on utilise notamment des chambres d'ionisation et des compteurs portatifs ou des dosimètres individuels à film ; c'est à l'établissement intéressé ou aux organismes nationaux qu'il incombe de relever et de consigner les résultats enregistrés par ces appareils. Il peut être nécessaire d'installer des moniteurs sectoriels et des moniteurs pour l'examen des pieds et des mains dans certaines zones, notamment là où l'on utilise des radionucléides présentant une forte activité gamma ; il faut également des moniteurs pour déceler la contamination au niveau des paillasses, des sols, etc.

Dans certains cas particuliers, par exemple lorsqu'on utilise à des fins thérapeutiques de l'iode-131 de forte activité, on pourra contrôler la contamination interne éventuelle du personnel en le soumettant à des examens réguliers de la thyroïde.

4.6.3 *Autres matériels*

La plupart des travaux de médecine nucléaire nécessitent une quantité importante de verrerie, réactifs et autres fournitures employés dans les laboratoires ordinaires de biologie et de chimie ; on peut également avoir besoin de matériel pour la chromatographie, l'électrophorèse ou d'autres méthodes de fractionnement.

4.6.4 *Entretien du matériel*

L'organisation des services d'entretien est liée d'une part à la compétence du personnel en électronique et en mécanique et à la présence d'ateliers de réparation, et d'autre part à la rapidité des communications avec les fournisseurs qualifiés et à la disponibilité du matériel de rechange.

4.7 Fourniture de substances radioactives

Les radioéléments employés en médecine nucléaire proviennent en général des produits de fission qui prennent naissance dans les réacteurs nucléaires. Quelquefois aussi ils sont obtenus par irradiation de substances cibles dans des réacteurs, dans des cyclotrons ou autres accélérateurs de particules. Un certain nombre de radionucléides importants proviennent de précurseurs contenant des radionucléides de période plus longue.

Etant donné que la plupart des radionucléides d'usage courant ont une période relativement courte, il importe que les centres de médecine nucléaire

disposent de moyens de communication rapides avec les sources locales d'approvisionnement ou de liaisons aériennes convenables avec leurs fournisseurs à l'étranger (et qu'ils aient également les moyens d'assurer, s'il y a lieu, le dédouanement rapide de ces produits). Pour le diagnostic, on utilise de plus en plus des radionucléides engendrés par des précurseurs qui, comme c'est le cas en particulier de l'indium 113 *m*, sont particulièrement avantageux pour les établissements isolés ; de même que les produits pharmaceutiques radioactifs préparés à partir de radionucléides provenant de réacteurs ou d'accélérateurs, ces substances doivent être préparées sur place et être conformes aux normes de pureté, de stérilité et d'apyrogénicité.

4.8 Le développement des services de médecine nucléaire et ses objectifs

La médecine nucléaire constituant désormais une branche reconnue et importante de la pratique médicale moderne, il importe que les grands établissements médicaux qui ont à faire face à des problèmes à la solution desquels cette discipline pourrait apporter une contribution précieuse possèdent, dans la mesure du possible, les moyens de la mettre en œuvre. Cette remarque vaut en particulier pour les établissements qui ont la charge d'assurer un enseignement, car celui de la médecine nucléaire doit être inscrit à leur programme, que ce soit au niveau universitaire ou postuniversitaire.

Ces méthodes ne sont pas uniquement valables dans les pays possédant des moyens médicaux extrêmement élaborés. Dans de nombreux cas, en effet, les épreuves systématiques de diagnostic fondées sur l'emploi de radionucléides se révèlent plus faciles à exécuter que d'autres et moins dangereuses pour le malade. Il arrive aussi que seul l'emploi de radionucléides fournisse certains renseignements diagnostiques ou même produise certains effets thérapeutiques. Il convient également de souligner que l'emploi de ces techniques représente une manière nouvelle et féconde d'étudier et combattre nombre de maladies qui, dans les pays en voie de développement, posent d'importants problèmes de santé publique ; il s'agit notamment de l'exploration fonctionnelle de la thyroïde dans le goitre endémique, d'études sur la durée de vie moyenne des hématies et le renouvellement du fer au cours des anémies hémolytiques ou autres, du balayage hépatique dans l'amibiase et l'hydatidose, de l'exploration fonctionnelle du rein dans la schistosomiase et enfin d'études sur l'absorption au cours d'un grand nombre de maladies nutritionnelles.

La mise en place de services de médecine nucléaire fait évidemment naître une forte demande tant en ressources matérielles qu'en personnel qualifié. Dans tout pays, le niveau de développement de ces services doit donc être fonction de celui des autres secteurs de la médecine des rayonnements et des services médicaux de base et notamment être adapté aux ressources financières disponibles ainsi qu'aux effectifs en personnel médical,

scientifique ou technique qualifié, raisonnablement susceptible de leur être affecté. Il serait sans doute prématuré de chercher à introduire à grande échelle la médecine nucléaire dans les pays qui ne possèdent encore que les services médicaux de base et dont les ressources sont par ailleurs très limitées. Force est cependant de reconnaître que le champ d'activité et l'importance de cette spécialité n'ont cessé de se développer au cours des trois dernières décennies et continuent à progresser rapidement. Des programmes de médecine nucléaire ont déjà été lancés dans plus de cinquante pays en voie de développement, de même que dans tous les pays industrialisés, et il importe, à l'évidence, que chaque pays prenne les dispositions voulues pour inscrire l'expansion des services de médecine nucléaire dans son programme sanitaire à long terme.

4.9 Priorités dans le développement des services de médecine nucléaire

Quel que soit le pays, la condition essentielle pour la création de services de médecine nucléaire est l'existence d'un noyau de personnes qualifiées formées à cette spécialité. Cette formation est complexe et le mieux est d'y pourvoir dans des centres de valeur reconnue, de sorte que le personnel du premier centre créé localement sera généralement constitué de spécialistes formés à l'étranger.

En raison tant des compétences spéciales et du matériel complexe nécessaires à la médecine nucléaire que de la nécessité d'assurer la sécurité des manipulations de substances radioactives, il est souhaitable de centraliser les installations. Le Comité estime qu'en général, un pays ou une région auront avantage à attendre que le ou les premiers centres créés aient atteint un niveau élevé de développement avant de mettre en place des centres secondaires.

Le ou les premiers centres auront de la sorte à assurer des services de médecine nucléaire à la population de leur secteur, tout en permettant la formation de nouveaux personnels. Ils serviront également à montrer à la profession médicale la portée et la valeur des méthodes de la médecine nucléaire. Des installations spéciales peuvent également être mises en place dans ces grands centres en vue d'effectuer des recherches sur les problèmes d'importance médicale nationale susceptibles d'être étudiés notamment par les techniques radio-isotopiques, étant donné que la meilleure solution est en général d'étudier ces problèmes sur place. La présence d'installations de recherche est importante car elle stimule le travail scientifique ainsi que le recrutement et la formation de chercheurs hautement qualifiés. Elles contribuent en outre à la mise au point de nouvelles techniques ou à l'adaptation des techniques existantes aux conditions et aux exigences propres au pays ou à la région en cause.

Il peut toutefois arriver, exceptionnellement, qu'un problème particulier de santé se pose avec assez d'acuité pour nécessiter l'équipement d'un certain

nombre de petits dispensaires avec des installations permettant de mettre en œuvre un certain nombre de techniques radio-isotopiques, telles que l'exploration fonctionnelle de la thyroïde dans les régions où prédomine le goitre endémique, et cela avant la mise en place d'un grand centre de médecine nucléaire.

L'intégration des services au niveau national est particulièrement souhaitable en médecine nucléaire, étant donné qu'il est pratiquement impossible de doter tous les centres de l'équipement permettant de mettre en œuvre la totalité des techniques radio-isotopiques. Ainsi la radiothérapie au moyen de radionucléides non scellés de haute activité de même que l'emploi de procédés à visualisation rapide seront normalement réservés à un certain nombre de centres principaux ; les centres secondaires devront donc rester en contact étroit avec eux et pourront leur envoyer des malades en vue d'épreuves ou de traitements plus élaborés.

La nécessité d'organiser d'une façon efficace l'approvisionnement en substances radioactives ainsi que l'entretien et la réparation du matériel électronique est un argument supplémentaire en faveur de l'intégration des services de médecine nucléaire. Une collaboration étroite entre les autorités sanitaires et les responsables de l'utilisation de l'énergie atomique est également essentielle à la mise en place d'un programme efficace. Des consultants possédant une vaste expérience dans ce domaine sont susceptibles de donner d'utiles conseils sur l'intégration de la médecine nucléaire à l'ensemble des services médicaux. La coopération entre les pays d'une même région géographique peut également contribuer à résoudre les problèmes que soulève la mise au point de programmes nationaux. Enfin il ne faut pas oublier le rôle qu'ont à jouer les organisations internationales dans la promotion de ces programmes.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5.1 Considérations générales

1) Branche essentielle de la médecine préventive et des soins médicaux, la médecine des rayonnements verra son importance s'accroître à mesure que seront lancés des programmes médico-sanitaires de grande envergure. A l'heure actuelle, ces soins sont hors de portée d'une grande partie de la population mondiale et il convient de s'efforcer de les lui rendre plus accessibles.

2) On s'efforcera d'évaluer l'efficacité des différentes méthodes employées en médecine des rayonnements et d'introduire de nouvelles techniques radiologiques dans la pratique médicale.

3) Un appui devra être apporté aux projets régionaux de recherche qui font appel à la médecine des rayonnements, en vue d'étudier la pathologie

locale et de mettre au point des méthodes de lutte contre les maladies qui sévissent dans les pays en voie de développement.

4) Une priorité spéciale sera accordée au radiodiagnostic car les examens de base en ce domaine sont essentiels pour le diagnostic dans n'importe quelle branche de la médecine. Les formes plus élaborées d'actes diagnostiques de même que l'ensemble de la radiothérapie et la mise en œuvre de la médecine nucléaire sont fonction du degré de développement atteint par les services médicaux.

5) Avant de mettre en place toute installation ou appareil, il convient de toujours se demander s'il est adapté à l'environnement (services d'entretien, etc.) dans lequel il doit fonctionner.

6) Il est essentiel de faire en sorte que l'approvisionnement en pièces détachées et en matériel d'entretien soit assuré en permanence et que le personnel chargé de l'entretien puisse être à pied d'œuvre sans retard injustifié.

7) Sans doute le manque de main-d'œuvre qualifiée constitue-t-il le principal obstacle à un développement planifié de la médecine des rayonnements dans certaines collectivités. Il est indispensable de disposer sans délai de moyens d'enseignement mieux organisés et plus nombreux. Il importe d'attirer l'attention des autorités sanitaires et des responsables des universités et des écoles de médecine sur cette situation.

8) La médecine des rayonnements occasionne des frais généralement importants qui se répartissent en trois postes : matériel, personnel, locaux. C'est en regard de l'ensemble du développement médico-social qu'on décidera de la priorité à accorder au développement intégral de la médecine des rayonnements.

9) Dans tous les cas, on doit veiller scrupuleusement à la protection contre les rayonnements. Un bon moyen pour réduire les risques et écarter les dangers susceptibles de menacer les individus comme la population en général consiste à ne confier la pratique de la médecine des rayonnements qu'à un personnel convenablement formé et pleinement qualifié pour ce genre de travail.

5.2 Activités AIEA/OMS

Le Comité recommande à l'AIEA et à l'OMS d'envisager leur action de la manière suivante :

1) Instituer et appuyer un enseignement approprié par le moyen de cours dûment organisés de formation et de recyclage à l'intention des médecins qui se consacrent à la médecine des rayonnements, des physiciens médicaux, des techniciens de radiologie, des techniciens de montage et d'entretien, ainsi que du personnel fournissant des services consultatifs en matière de radioprotection.

2) Encourager, en fonction des possibilités et des nécessités, le regroupement des cours destinés aux différentes catégories de personnel qui se consacrent à la médecine des rayonnements et au personnel de santé publique responsable de la protection contre les rayonnements, afin de tirer le meilleur parti possible des enseignants et du matériel pédagogique.

3) Encourager la coopération entre les pays, notamment pour la création de centres de formation en médecine des rayonnements lorsque la demande en main-d'œuvre qualifiée et en matériel n'est pas encore suffisante pour justifier la mise en place de ces installations dans chaque pays.

4) Recourir aux techniques de l'analyse des systèmes, et mettre au point les méthodes et les modèles qui sont nécessaires pour définir les besoins de la médecine des rayonnements et prévoir son développement dans l'ensemble de la planification sanitaire ; recueillir les données nécessaires à l'application de ces modèles, et les mettre à la disposition des planificateurs sanitaires nationaux ; apporter un appui à l'enseignement de la planification en médecine des rayonnements.

5) Encourager la mise en place de services d'appui, notamment consultatifs, tels que des services de radioprotection, des centres d'entretien et de réparation et des centres d'étalonnage pour le matériel dosimétrique.

6) Contribuer au développement des méthodes de radiodiagnostic en encourageant des essais sur le terrain susceptibles de servir de modèles à l'usage des installations radiologiques de base.

7) Contribuer au développement de la radiothérapie en encourageant la création de centres régionaux d'étalonnage pour le matériel de dosimétrie, en assurant des services de comparaison dosimétrique ou en développant ceux qui existent déjà, et en améliorant les possibilités de consultation et d'information (mise à disposition de consultants, de manuels, etc.).

8) Contribuer au développement de la médecine nucléaire en favorisant l'enseignement et l'information, notamment grâce à l'établissement de centres de référence.

REMERCIEMENTS

Le Comité tient à remercier particulièrement les fonctionnaires suivants du service Radiations et Santé de l'OMS de leur contribution à ses travaux : M^lle I. Classen, administrateur technique, le D^r E. Komarov, médecin et le D^r B. Waldeskog, physicien médical.

Annexe 1

DÉVELOPPEMENT DE L'UTILISATION MÉDICALE DES RADIATIONS IONISANTES

Résolution WHA24.31 de la Vingt-Quatrième Assemblée mondiale de la Santé

La Vingt-Quatrième Assemblée mondiale de la Santé,

Notant le Rapport annuel du Directeur général sur l'activité de l'Organisation mondiale de la Santé en 1970 ;

Consciente de l'inquiétude qui se manifeste devant l'exposition sans cesse croissante de la population aux rayonnements du fait de l'usage grandissant des radiations ionisantes en médecine à des fins de diagnostic et de traitement ;

Considérant qu'à cette exposition médicale croissante peuvent s'ajouter d'autres sources d'irradiation à la suite des emplois pacifiques de plus en plus nombreux de l'énergie nucléaire et notamment des radio-isotopes ;

Reconnaissant qu'une augmentation de l'exposition de la population aux rayonnements augmente la probabilité d'effets biologiques délétères affectant aussi bien les générations futures que la génération présente ;

Considérant par ailleurs l'importance du rôle des radiations ionisantes en médecine préventive et curative, l'amélioration de la santé qui en résulte et le nombre de vies qui peuvent être ainsi sauvées ;

Désireuse d'améliorer la situation présente et d'obtenir dans l'utilisation médicale des radiations ionisantes le meilleur rapport possible entre les avantages et les risques,

1. INVITE les Etats Membres :

   i) à collaborer à des études épidémiologiques destinées à améliorer les connaissances sur les effets des radiations ionisantes utilisées en médecine ;

   ii) à promouvoir des études visant à améliorer les méthodes et les techniques relatives à l'utilisation médicale des radiations ionisantes, tant du point de vue de l'efficacité que de la réduction de l'exposition des populations aux rayonnements, et à introduire ces améliorations dans la pratique médicale ; et

   iii) à organiser des services de protection radiologique compétents en matière d'utilisations médicales et autres des radiations ionisantes, à des fins de consultation, de contrôle et d'inspection ;

2. PRIE le Directeur général :

i) d'étudier la question de l'utilisation optimale des radiations ionisantes en médecine et les risques résultant pour la santé d'un emploi excessif ou impropre des rayonnements ;

ii) d'élaborer un programme d'activités axé sur la rationalisation de l'emploi médical des radiations ionisantes et sur l'amélioration des techniques et de l'équipement utilisés à des fins de diagnostic et de traitement, y compris la dosimétrie clinique et la protection radiologique ; et

iii) de faire rapport à la Vingt-Cinquième Assemblée mondiale de la Santé sur l'étude et le programme d'activité susmentionnés.

Mai 1971

Annexe 2

LISTE DE DOCUMENTS DE TRAVAIL NON PUBLIÉS

Données chiffrées sur l'utilisation des rayonnements ionisants en Thaïlande, par T. S. Bunnag (RHL/WP/71.9)

Le radiodiagnostic, par R. H. Chamberlain (RHL/WP/71.2)

Les applications médicales des rayonnements au Nigéria, par J. T. Kofi Duncan (RHL/WP/71.8)

Données suédoises et néo-zélandaises sur les épreuves au moyen de nucléides radioactifs, par E. E. Pochin (RHL/WP/71.6)

Fréquence et nature des actes pratiqués en médecine nucléaire, par E. E. Pochin (RHL/WP/71.5)

Médecine nucléaire, par E. E. Pochin (RHL/WP/71.4)

Compilation de renseignements sur le matériel de radiothérapie, par W. Seelentag (RHL/WP/71.10)

*Extrait de l'*Annuaire de Statistiques sanitaires mondiales, 1967 (Genève 1970), par W. Seelentag (RHL/WP/71.11)

La radiothérapie, par B. Windeyer (RHL/WP/71.3)